



**TUGAS AKHIR - MO 141326**

**ANALISIS VARIASI KONFIGURASI SISTEM MOORING DAN OLAH  
GERAK STRUKTUR MODEL COLLAR CAGE FLOATING  
OFFSHORE AQUACULTURE UNTUK LAUT LEPAS INDONESIA**

**NIKEN DESIANA PUTRI**

**NRP. 4314100030**

**Dosen pembimbing**

**Dr.Eng, Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.**

**Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D**

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN**

**FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN**

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**SURABAYA**

**2018**



FINAL PROJECT - MO 141326

A VARIATION ANALYSIS OF MOORING SYSTEM  
CONFIGURATION AND STRUCTURE MOTION OF COLLAR CAGE  
FLOATING OFFSHORE AQUACULTURE FOR INDONESIAN HIGH  
SEAS

NIKEN DESIANA PUTRI

NRP. 4314100030

Supervisors

Dr.Eng, Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2018

**ANALISIS VARIASI KONFIGURASI SISTEM MOORING DAN OLAH  
GERAK STRUKTUR MODEL COLLAR CAGE FLOATING  
OFFSHORE AQUACULTURE UNTUK LAUT LEPAS INDONESIA**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Niken Desiana Putri**

NRP. 4314 100 030

Disetujui oleh:

1. Dr.Eng, Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc. (Pembimbing 1)

2. Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing 2)

3. Prof.Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D., MRINA (Penguji 1)

4. Agro Wisudawan S.T., M.T. (Penguji 2)

SURABAYA, JANUARI 2018

**ANALISIS VARIASI KONFIGURASI SISTEM MOORING DAN OLAH  
GERAK STRUKTUR MODEL COLLAR CAGE FLOATING  
OFFSHORE AQUACULTURE UNTUK LAUT LEPAS INDONESIA**

**Nama Mahasiswa : Niken Desiana Putri**  
**NRP : 4314 100 030**  
**Departemen : Teknik Kelautan**  
**Dosen Pembimbing : Dr.Eng, Yeyes Mulyadi, S.T, M.Sc.**  
**Nur Syahroni, S.T, M.T, Ph.D**

**ABSTRAK**

*Aquaculture* merupakan upaya produksi biota atau organisme perairan dengan membuat kondisi lingkungan yang mirip dengan habitat asli organisme yang dibudidayakan. Masalah pencurian ikan dan *overfishing* yang membuat produktivitas perikanan Indonesia menurun dapat diatasi dengan meningkatkan produksi perikanan Indonesia melalui *offshore aquaculture*. Salah satu jenis struktur *Offshore Aquaculture* adalah *Collar Cage Aquaculture*. Sebagai bangunan yang terapung, maka perlu adanya sistem tambat untuk menjaga stuktur tetap berada di posisinya dengan kondisi yang baik. Dalam penelitian ini akan membahas tentang desain dan variasi konfigurasi sistem mooring serta olah gerak struktur *Floating Offshore Aquaculture* model *collar cage* yang dimodifikasi untuk laut lepas di Indonesia. Lokasi yang dipilih adalah laut lepas bagian selatan Indonesia. Variasi sistem konfigurasi *mooring* yang akan dibandingkan adalah antara tipe *linear array*, *rectangular array* dan 8 titik tambat tanpa *buoy*. Perancangan *mooring line* menggunakan tali nylon SN81-120220-DY dengan *maximum breaking load* sebesar 2501,5 kN. Berdasarkan hasil analisa, gerakan struktur terkecil dihasilkan oleh sistem konfigurasi *rectangular array* dengan rotasi sebesar  $5,06^{\circ}$  dan translasi sejauh 1,355 m. Tension terkecil dari maksimum *tension* ketiga konfigurasi ialah pada konfigurasi *rectangular array* dengan nilai 1150,642 kN dan *offset* terkecil yaitu 7,15 m pada konfigurasi 8 titik tambat tanpa *buoy*.

**Kata kunci :** *Aquaculture, Collar Cage, Mooring Line, Offset, Tension.*

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

**A VARIATION ANALYSIS OF MOORING SYSTEM  
CONFIGURATION AND STRUCTURE MOTION OF COLLAR CAGE  
FLOATING OFFSHORE AQUACULTURE  
FOR INDONESIAN HIGH SEAS**

**Name** : Niken Desiana Putri  
**NRP** : 4314 100 030  
**Department** : Ocean Engineering  
**Supervisors** : Dr.Eng, Yeyes Mulyadi, S.T, M.Sc.  
Nur Syahroni, S.T, M.T, Ph.D

**ABSTRACT**

Aquaculture is an attempt to produce biota or aquatic organism by creating environmental conditions similar to the real habitat a cultured organism. The fish theft and overfishing which makes fishery productivity in Indonesia decreased could be overcome with offshore aquaculture to increase the fishery production. One type of offshore aquaculture structure is a collar cage aquaculture. As a floating building, it is necessary to have a mooring system to keep the structure remain in its positions with good conditions. In this research will discuss the design, the variation of mooring system configuration, and structure motion of floating offshore aquaculture model of collar cage modified for high seas in Indonesia. The southern part of Indonesia is the high seas location which selected. The variation system of mooring configuration that would be compared is a linear array, a rectangular array and 8 mooring points without a buoy. Mooring line design using nylon strap SN81-120220-DY with a maximum breaking load about 2501,5 kN. Based on an analysis result, the smallest of structure motion is obtained rectangular array in  $5,06^\circ$  rotation and as far as 1,355 m. The smallest tension of the three configuration is in a rectangular array with 1150,642 kN and the smallest of offset is 7,15 m in a configuration of 8 mooring points without a buoy.

**Keywords** : *Aquaculture, Collar Cage, Mooring Line, Offset, Tension.*

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat, hidayah dan karuniaNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “Analisis Variasi Konfigurasi Sistem Mooring Dan Olah Gerak Struktur Model Collar Cage Floating Offshore Aquaculture Untuk Laut Lepas Indonesia”. Laporan ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dengan Tugas Akhir ini, diharapkan dapat dipakai sebagai salah satu acuan dalam melakukan analisa *mooring tension* dan *offset* terhadap sistem *mooring* pada struktur *aquaculture* model *collar cage*.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih belum sempurna. Oleh karena itu kritik dan saran sangat diharapkan sebagai penyempurnaan untuk penulisan selanjutnya. Besar harapan penulis semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi penulis khususnya dan para pembaca pada umumnya.

Surabaya, Januari 2018

Niken Desiana Putri



**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam proses pengerjaan dan penyusunan laporan ini, penulis telah mendapatkan dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini pula, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT, yang telah memberikan kehendak dan kuasa-Nya dalam bentuk terselesaikannya tugas akhir ini dengan baik dan tanpa suatu halangan apapun yang berarti.
2. Kedua orang tua penulis, Ibu Yuni Sulistyowati dan Bapak Santo, serta keluarga khususnya Latifa yang selalu memberi dukungan fisik dan spiritual hingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.
3. Dr.Eng, Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc dan Nur Syahroni, S.T., M.T.,Ph.D selaku dosen pembimbing I dan dosen pembimbing II yang telah merelakan waktu di sela-sela kesibukannya untuk membimbing penulis dengan sabar sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik dan maksimal.
4. Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D selaku Dosen Wali.
5. Senior penulis di jurusan, yaitu Angga Baskara, Hafidz Bagus, Vilda, Ananda Raiz, Rino, dan Dimas Maulana R, yang telah memberikan pengarahan serta berbagi ilmu kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Teman-teman Maelstrom Teknik Kelautan 2014, khususnya Moontera yang telah memberi semangat kepada penulis dalam penyelesain tugas akhir ini.
7. Serta pihak-pihak lain yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Sekali lagi penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala bantuan yang telah diberikan oleh pihak-pihak yang sudah penulis sebutkan di atas, dan semoga mendapatkan balasan yang setimpal dari Allah SWT.

Surabaya, Januari 2018

Niken Desiana Putri

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
ABSTRAK .....	iii
ABSTRACT .....	v
KATA PENGANTAR .....	vii
UCAPAN TERIMAKASIH .....	ix
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiv
DAFTAR GAMBAR .....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xx
 BAB I PENDAHULUAN .....	 1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	5
1.4 Manfaat Penelitian .....	5
1.5 Batasan Masalah .....	6
1.6 Sistematika Penulisan .....	6
 BAB II DASAR TEORI .....	 9
2.1 Tinjauan Pustaka .....	9
2.2 Dasat Teori .....	10
2.2.1 <i>Aquaculture</i> .....	10
2.2.2 <i>Layout dan Bentuk Struktur Collar Cage Aquaculture</i> .....	15
2.2.3 Pipa High DensityPolyetheylene (HDPE) .....	16
2.2.4 Hukum Archimedes .....	16
2.2.5 Teori Dasar Gerak Bangunan Apung .....	17
2.2.6 Spektra Gelombang .....	20
2.2.7 Response Amplitude Operator (RAO) .....	22
2.2.8 Respon Gerak Bangunan Laut di Gelombang Acak .....	22

2.2.9 Konsep Pembebanan .....	23
2.2.10 Sistem Mooring .....	24
2.2.11 Metode Tambat <i>Aquaculture</i> .....	25
2.2.12 <i>Tension Mooring</i> .....	28
2.2.13 <i>Offset</i> .....	29
2.2.14 Motion Struktur .....	29
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	 31
3.1 Diagram Alir Penelitian Umum .....	31
3.2 Prosedur Penelitian .....	32
3.3 Pengumpulan Data .....	34
3.3.1 Data Lingkungan .....	34
3.3.2 Data Spesifikasi Mooring Line .....	35
3.3.3 Data Kriteria Ukuran Pipa .....	36
3.3.4 Data Ukuran dan Volume Struktur .....	36
 BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....	 39
4.1 Variasi 3 Konfigurasi Sistem Mooring .....	39
4.2 Konfigurasi Struktur dan Sistem Pendukung .....	41
4.3 Perhitungan Berat dan Buoyancy.....	53
4.4 Pemodelan Struktur .....	57
4.5 Pemodelan 3 Konfigurasi Mooring .....	57
4.6 Response Amplitude Operator (RAO) .....	59
4.6.1 RAO Konfigurasi <i>Linear Array</i> .....	60
4.6.2 RAO Konfigurasi <i>Rectangular Array</i> .....	63
4.6.3 RAO Konfigurasi 8 Titik Tambat Tanpa <i>Buoy</i> .....	66
4.7 Spektrum Gelombang .....	70
4.8 Respons Spektra dan Respons Struktur .....	71
4.8.1 Respons Spektra <i>Linear Array</i> .....	72
4.8.2 Respons Spektra <i>Rectangular Array</i> .....	75
4.8.3 Respons Spektra 8 Titik Tambat Tanpa <i>Buoy</i> .....	78
4.9 Analisa <i>Mooring Tension</i> .....	81

4.10 Analisa <i>Offset</i> .....	87
4.11 Analisa Perbandingan Konfigurasi Sistem Mooring .....	88

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan .....	97
5.2 Saran .....	98

DAFTAR PUSTAKA .....	99
----------------------	----

## LAMPIRAN

## BIODATA PENULIS

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbedaan Inshore dan Offshore Aquaculture .....	10
Tabel 2.2	Beberapa Penggolongan Offshore Aquaculture .....	11
Tabel 2.3	Sistem Grid <i>Collar Cage Aquaculture</i> .....	27
Tabel 2.4	Safety Factor Parsial untuk Analisa ULS .....	28
Tabel 3.1	Data Lingkungan Laut Timor .....	35
Tabel 3.2	Katalog Pipa HDPE PE 80 .....	36
Tabel 4.1	Katalog Pipa HDPE PE 80 (Cardia dan Lovatelli, 2015) .....	42
Tabel 4.2	Ukuran Dimensi dari Struktur dan Pipa yang Digunakan .....	43
Tabel 4.3	Dimensi Bangunan Atas .....	45
Tabel 4.4	Dimensi Collar .....	46
Tabel 4.5	Dimensi Handrail .....	47
Tabel 4.6	Dimensi dan Spesifikasi Sinker .....	48
Tabel 4.7	Perhitungan Volume dan Berat Ballast .....	49
Tabel 4.8	Spesifikasi Bracket .....	50
Tabel 4.9	Spesifikasi Tali Sinker .....	51
Tabel 4.10	Perhitungan Berat Bangunan Atas .....	53
Tabel 4.11	Perhitungan Berat Floater .....	54
Tabel 4.12	Perhitungan Buoyancy .....	55
Tabel 4.13	Perhitungan Berat Total Tali untuk Masing-masing Konfigurasi .....	55
Tabel 4.14	Perhitungan Berat Total Struktur dan Floating Condition untuk Masing-masing Konfigurasi .....	56
Tabel 4.15	Perhitungan Berat dan Buoyancy Jaring .....	56
Tabel 4.16	Spesifikasi Aqua 850 Offshore Aquaculture Buoy.....	70
Tabel 4.17	Amplitudo Struktur Setiap Mode Gerakan Linear Array .....	74
Tabel 4.18	Amplitudo Struktur Setiap Mode Gerakan Rectangular Array.	77
Tabel 4.19	Amplitudo Struktur Setiap Mode Gerakan 8 Titik Tambat Tanpa Buoy .....	80

Tabel 4.20	Hasil Analisis Tension Maksimum pada Mooring Line Konfigurasi Linear Array .....	82
Tabel 4.21	Hasil Analisis Tension Maksimum pada Mooring Line Konfigurasi Rectangular Array .....	83
Tabel 4.23	Hasil Analisis Tension Maksimum pada Mooring Line Konfigurasi 8 Titik Tambat Tanpa Buoy .....	86
Tabel 4.24	Maksimum Offset .....	87
Tabel 4.25	Perbandingan Hasil Konfigurasi Mooring.....	88
Tabel 4.26	Bobot dari masing-masing Kriteria .....	90
Tabel 4.27	Pair Comparation Matrix .....	91
Tabel 4.28	Bobot Perbandingan .....	92
Tabel 4.29	Pairwise Comparation Panjang Total Mooring Line terhadap Ketiga Konfigurasi .....	93
Tabel 4.30	Pairwise Comparation Berat Total Mooring Line terhadap Ketiga Konfigurasi .....	93
Tabel 4.31	Pairwise Comparation Tension Maksimum terhadap Ketiga Konfigurasi .....	94
Tabel 4.32	Pairwise Comparation Offset Maksimum terhadap Ketiga Konfigurasi .....	94
Tabel 4.33	Pairwise Comparation Respons Translasi Struktur terhadap Ketiga Konfigurasi .....	94
Tabel 4.34	Pairwise Comparation Respons Rotasi Struktur terhadap Ketiga Konfigurasi .....	95
Table 4.35	Overall Composite Weight .....	95



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	<i>Collar Cage Aquaculture</i> .....	3
Gambar 2.1	<i>Floating flexible cage</i> berbahan HDPE yang terinstal di Ambon .....	12
Gambar 2.2.	<i>Collar Cage</i> (Fusion Marine, 2017) .....	12
Gambar 2.3	<i>Aqua System 104</i> , contoh <i>Floating Rigid Cage</i> .....	12
Gambar 2.4	<i>Farmoceen cage</i> yang merupakan contoh dari <i>Semi-submersible rigid cages</i> .....	13
Gambar 2.5	Ilustrasi <i>Sea Station Cage</i> .....	14
Gambar 2.6	<i>Sadco Cage</i> contoh dari <i>Submersible rigid cages</i> .....	14
Gambar 2.7	<i>Layout Cage Aquaculture</i> (Olivares, 2003) .....	15
Gambar 2.8	Konfigurasi Sistem Tambat Tipe <i>Catenary</i> .....	24
Gambar 2.9	Konfigurasi Sistem Tambat Tipe <i>Taut Leg</i> .....	25
Gambar 2.10	<i>Mooring</i> Konfigurasi Jajaran Persegi .....	26
Gambar 2.11	<i>Mooring</i> Konfigurasi Jajaran <i>Linear</i> .....	26
Gambar 2.12	<i>Mooring</i> Konfigurasi 8 Titik Tambat Tanpa Buoy.....	27
Gambar 3.1	Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir .....	31
Gambar 3.2	Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (lanjutan).....	32
Gambar 3.3	Nylon Fiber Rope (Mordec).....	35
Gambar 3.4	Model struktur <i>collar cage</i> sebelum dimodifikasi.....	37
Gambar 4.1	Model konfigurasi <i>linear array</i> tampak atas .....	39
Gambar 4.2	Model konfigurasi <i>rectangular array</i> .....	40
Gambar 4.3	Model konfigurasi 8 Titik Tambat Tanpa Buoy .....	41
Gambar 4.4	<i>General Arrangement</i> Struktur <i>Collar Cage Aquaculture</i> .....	43
Gambar 4.5	Struktur <i>Collar Cage Aquaculture</i> Tampak Samping .....	44
Gambar 4.6	Struktur <i>Collar Cage Aquaculture</i> Tampak Atas .....	44
Gambar 4.7	<i>Smooth Surface HDPE Sheet</i> (SDXXHG, 2017).....	45
Gambar 4.8	Letak <i>Inner Collar</i> ditandai dengan warna biru.....	46
Gambar 4.9	Letak <i>Outer Collar</i> ditandai dengan warna biru .....	46
Gambar 4.10	Letak <i>Middle Collar A</i> ditandai dengan warna biru .....	46

Gambar 4.11	Letak <i>Middle Collar</i> B ditandai dengan warna biru .....	46
Gambar 4.12	Letak <i>Middle Collar</i> C ditandai dengan warna biru .....	47
Gambar 4.13	Letak <i>Inner Handrail</i> yang ditandai dengan .....	48
Gambar 4.14	Letak <i>Outer Handrail</i> yang ditandai dengan.....	48
Gambar 4.15	Letak <i>Sinker</i> Struktur yang ditandai dengan warna biru .....	48
Gambar 4.16	Detail Penampang <i>Bracket</i> .....	49
Gambar 4.17	Detail <i>Bracket</i> Tampak Isometri .....	50
Gambar 4.18	Detail <i>Bracket</i> Tampak Isometri .....	50
Gambar 4.19	Letak Tali <i>Sinker</i> Struktur yang ditandai dengan warna biru...	51
Gambar 4.20	Bentuk dan ukuran jaring .....	52
Gambar 4.21	Area struktur yang diselimuti jaring.....	52
Gambar 4.22	Model <i>surface</i> pada Autodesk Inventor .....	57
Gambar 4.23	Model sistem <i>mooring</i> konfigurasi <i>linear array</i> .....	58
Gambar 4.24	Model sistem <i>mooring</i> konfigurasi <i>rectangular array</i> .....	58
Gambar 4.25	Model sistem <i>mooring</i> konfigurasi 8 titik tambat tanpa buoy..	59
Gambar 4.26	RAO <i>Linear Array</i> Translasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading 0°</i> .....	60
Gambar 4.27	RAO <i>Linear Array</i> Rotasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading 0°</i> .....	60
Gambar 4.28	RAO <i>Linear Array</i> Translasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading 45°</i> .....	61
Gambar 4.29	RAO <i>Linear Array</i> Rotasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading 45°</i> .....	61
Gambar 4.30	RAO <i>Linear Array</i> Translasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading 90°</i> .....	62
Gambar 4.31	RAO <i>Linear Array</i> Rotasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading 90°</i> .....	62
Gambar 4.32	RAO <i>Rectangular Array</i> Translasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading 0°</i> .....	63
Gambar 4.33	RAO <i>Rectangular Array</i> Rotasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading 0°</i> .....	64

Gambar 4.34	RAO <i>Rectangular Array</i> Translasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading</i> 45° .....	64
Gambar 4.35	RAO <i>Rectangular Array</i> Rotasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading</i> 45° .....	65
Gambar 4.36	RAO <i>Rectangular Linear Array</i> Translasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading</i> 90° .....	65
Gambar 4.37	RAO <i>Rectangular Array</i> Rotasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading</i> 90° .....	66
Gambar 4.38	RAO 8 Titik Tambat Tanpa Buoy Translasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading</i> 0° .....	66
Gambar 4.39	RAO 8 Titik Tambat Tanpa Buoy Rotasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading</i> 0° .....	67
Gambar 4.40	RAO 8 Titik Tambat Tanpa Buoy Translasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading</i> 45° .....	68
Gambar 4.41	Grafik RAO 8 Titik Tambat Tanpa Buoy Rotasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading</i> 45° .....	68
Gambar 4.42	RAO 8 Titik Tambat Tanpa Buoy Translasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading</i> 90° .....	69
Gambar 4.43	RAO 8 Titik Tambat Tanpa Buoy Rotasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading</i> 90° .....	69
Gambar 4.44	Aqua 850 <i>Offshore Aquaculture Buoy</i> .....	70
Gambar 4.45	Grafik Spektrum JONSWAP ( $H_s = 4.8$ m, $T_p = 11.5$ s) .....	71
Gambar 4.46	Respons spektra <i>Linear Array</i> Translasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading</i> 0° .....	72
Gambar 4.47	Respons spektra <i>Linear Array</i> Rotasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading</i> 0° .....	72
Gambar 4.48	Respons spektra <i>Linear Array</i> Translasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading</i> 45° .....	73
Gambar 4.49	Respons spektra <i>Linear Array</i> Rotasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading</i> 45° .....	73
Gambar 4.50	Respons spektra <i>Linear Array</i> Translasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading</i> 90° .....	73

Gambar 4.51	Respons spektra <i>Linear Array</i> Rotasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading</i> 90° .....	74
Gambar 4.52	Respons spektra <i>Rectangular Array</i> Translasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading</i> 0° .....	75
Gambar 4.53	Respons spektra <i>Rectangular Array</i> Rotasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading</i> 0° .....	75
Gambar 4.54	Respons spektra <i>Rectangular Array</i> Translasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading</i> 45° .....	76
Gambar 4.55	Respons spektra <i>Rectangular Array</i> Rotasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading</i> 45° .....	76
Gambar 4.56	Respons Spektra <i>Rectangular Array</i> Translasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading</i> .....	76
Gambar 4.57	Respons Spektra <i>Rectangular Array</i> Rotasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading</i> 90° .....	77
Gambar 4.58	Respons spektra 8 titik tambat tanpa buoy Translasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading</i> 0° .....	78
Gambar 4.59	Respons spektra 8 titik tambat tanpa buoy Rotasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading</i> 0° .....	78
Gambar 4.60	Respons spektra 8 titik tambat tanpa buoy Translasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading</i> 45° .....	79
Gambar 4.61	Respons spektra 8 titik tambat tanpa buoy Rotasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading</i> 45° .....	79
Gambar 4.62	Respons Spektra 8 titik tambat tanpa buoy Translasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading</i> 90° .....	79
Gambar 4.63	Respons Spektra 8 titik tambat tanpa buoy Rotasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading</i> 90° .....	80
Gambar 4.64	Skema Penomoran Konfigurasi <i>Linear Array</i> .....	83
Gambar 4.65	Skema Penomoran Konfigurasi <i>Rectangular Array</i> .....	85
Gambar 4.66	Skema Penomoran <i>Mooring Lines</i> Konfigurasi 8 Titik Tambat Tanpa Buoy .....	87
Gambar 4.67	Diagram AHP .....	89

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	Perhitungan Struktur
LAMPIRAN B	Katalog <i>Mooring Line Mordec Syntetic Ropes</i>
LAMPIRAN C	Output Gambar ANSYS AQWA <i>Structure Position</i>

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan Negara maritim yang kaya akan hasil lautnya. Sebagai suatu negara kepulauan, Indonesia mempunyai wilayah laut yang lebih luas daripada wilayah daratan. Sehingga, keanekaragaman hayati lautnya sangat melimpah dan bervariasi. Keanekaragaman flora dan fauna di dalam laut Indonesia menjadi sumber kehidupan dan mata pencaharian bagi masyarakat Indonesia khususnya yang bermukim di pesisir pantai.

Menurut data Kementrian Kelautan dan Perikanan (2015) nilai PDB (Produk Domestik Bruto) mengalami peningkatan yang signifikan mulai dari tahun 2011 dengan jumlah sebesar Rp.227,5 triliun dan pada tahun 2012 dengan angka Rp.255,94 triliun meningkat pula pada dua tahun berikutnya yaitu 2013 sejumlah Rp.291,65 Triliun dan tahun 2014 Rp.342,65 triliun. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa Indonesia memiliki potensi kekayaan laut yang sangat besar.

Tetapi dalam keputusan Menteri KP No. Kep. 45/MEN/2011 tentang Estimasi Potensi Sumberdaya Ikan di Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia menyebutkan sebanyak 72,44% sumber daya ikan Indonesia di 11 wilayah pengelolaan ikan telah dieksploitasi secara maksimal (*fully exploited*) atau *overfishing* sehingga tersisa sekitar 27,56% yang masih bisa dimanfaatkan. Jika penangkapan ikan di laut secara berlebihan terus dilakukan maka produktivitas nelayan akan mengalami penurunan. Hal lain yang terjadi adalah aktivitas pemboman Tuna, dikenal dilakukan di pesisir Kabupaten Flores Timur sejak 2004. Praktek penangkapan tuna dengan menggunakan alat merusak ini diawali dengan dilemparkannya bom ke arah kumpulan tuna, kemudian setelah meledak para penyelam segera berloncatan ke air untuk membawa tuna tersebut ke permukaan sebelum tenggelam. Dari kajian yang dilakukan oleh WWF Indonesia, sejauh ini teridentifikasi empat faktor utama yang menjadi penyebab penangkapan tuna dengan bom, yaitu: (1) minimnya kapasitas nelayan dalam penangkapan ikan dan penanganan tuna dengan kualitas dan harga tinggi, (2) adanya dukungan dari pasar

yang masih menerima produk penangkapan yang merusak, (3) keuntungan jangka pendek yang didapat dari aktivitas pemboman, serta (4) lemahnya pengawasan dan penegakan hukum terhadap aktivitas perikanan merusak. Aktivitas penangkapan tuna dengan menggunakan bom ini berakibat pada: (1) tertangkapnya spesies dilindungi sebagai tangkapan samping, (2) pemborosan terhadap sumberdaya ikan, (3) jatuhnya korban jiwa dan cacat seumur hidup akibat insiden ledakan bom, (4) adanya kerugian ekonomi, serta (5) memberikan citra negatif produk Indonesia di pasar internasional dimana produk tuna banyak diperdagangkan. Hal ini menyebabkan kerugian besar bagi Indonesia.

Kerugian-kerugian tersebut bisa diatasi dengan menggunakan suatu teknologi yang bagus dan memberikan manfaat yang signifikan. Penurunan produksi juga dapat diatasi dengan meningkatkan produksi perikanan Indonesia melalui budidaya yang dapat disebut sebagai *aquaculture*. *Aquaculture* merupakan kegiatan memproduksi biota (organisme) akuatik di lingkungan yang terkontrol dalam rangka untuk mendapatkan keuntungan (profit) (Baskara,2017). Konsep *aquaculture* merupakan konsep keramba apung yang diusung untuk meningkatkan hasil perikanan Indonesia. *Aquaculture* merupakan industri yang sangat menjanjikan karena secara global produksi *aquaculture* selalu mengalami peningkatan. Menurut data statistik yang dikumpulkan secara global oleh FAO (*Food and Agriculture Organization*), produksi perikanan *aquaculture* dunia mencapai 90,4 juta ton (*live weight equivalent*) pada tahun 2012. Berdasarkan zona iklim, Indonesia menempati posisi pertama potensi terbesar hasil laut dari *aquaculture*. Vietnam sebagai negara sesama Asia Tenggara dengan potensi hasil laut yang lebih kecil, memiliki produksi dua kali lipat lebih besar dibandingkan dengan Indonesia (*Food and Agricultural Organization*,2005). Oleh karena hal tersebut maka pengembangan *aquaculture* penting untuk segera dilaksanakan di Indonesia.

Sejak akhir abad 20 peternakan ikan di laut atau *mariculture* sistem terbuka banyak diterapkan di pesisir pantai untuk menghindari ganasnya lingkungan laut lepas, kemudahan akses pemberian pangan, dan pengawasan. Hal tersebut berpotensi buruk terhadap lingkungan dalam jangka panjang karena pesisir pantai cenderung tidak memiliki sirkulasi yang baik sehingga residu dari sisa makanan

Salah satu teknologi *aquaculture* yang saat ini tengah dikembangkan adalah *offshore aquaculture* atau *aquaculture* lepas pantai. Menurut Rubino (2008), *aquaculture* lepas pantai memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan *aquaculture* konvensional antara lain: kualitas air yang lebih baik, ketersediaan lokasi yang lebih banyak, dan potensi ekonomi yang lebih tinggi. Salah satu desain struktur *offshore aquaculture* telah dikembangkan adalah *collar cage aquaculture*.

3



Di laut lepas Indonesia, belum banyak penelitian mengenai *offshore aquaculture*. Beberapa penelitian mengenai jaring apung yang telah dilakukan oleh Aziz (2015), yaitu mengenai desain *aquaculture* dengan menggunakan pipa HDPE untuk budidaya ikan baronang dengan sistem *catenary mooring* dengan hasil perhitungan memenuhi dapat dikatakan bahwa *mooring line* yang telah di desain aman. Penelitian lain adalah tentang desain dan analisa kekuatan struktur model *Farmoccean Semi-submersible offshore aquaculture* oleh Baskara (2017), serta penelitian tentang sistem tambat struktur *aquaculture* model *Seastation* oleh Hafidz (2017).

Tugas Akhir ini berhubungan dengan penelitian-penelitian tersebut yang telah dilakukan sebelumnya. Untuk penelitian ini, akan menganalisis sistem tambat dengan beberapa variasi konfigurasi dan olah gerak struktur *floating aquaculture* model *Collar Cage* yang belum ada penelitian tentang hal ini untuk laut lepas bagian selatan Indonesia. Setiap struktur bangunan laut memiliki respon gerak terhadap beban lingkungan. Bangunan *offshore aquaculture* sebagai bangunan apung juga memerlukan sistem tambat untuk mempertahankan posisinya. Maka dalam perancangan struktur bangunan lepas pantai terapung diperlukan analisa respon gerak bangunan apung dan sistem tambat yang tepat. Pada analisis kasus ini, ikan yang direncanakan di dalam *collar cage* adalah ikan tuna sirip kuning yang memiliki kapasitas  $5\text{kg/m}^3$ . Sehingga, jika ikan tuna rencana ditangkap saat berukuran 50 cm dengan berat rata-rata 10 kg, maka dengan volume collar cage sebesar  $678,58\text{ m}^3$  akan muat untuk ikan tuna sebanyak 340 ekor. Sedangkan jika ikan direncanakan ditangkap saat panjang 1m, akan muat untuk ikan tuna sebanyak 170 ekor.

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Berapa *tension* maksimum yang dihasilkan dari perbandingan beberapa konfigurasi sistem *mooring* pada struktur *aquaculture* model *Collar Cage* ?

2. Berapa *offset* maksimum yang terjadi pada struktur dari perbandingan beberapa konfigurasi sistem *mooring* pada struktur *aquaculture* model *Collar Cage* ?
3. Konfigurasi sistem *mooring* mana yang paling tepat dan efisien untuk struktur *aquaculture* model *Collar Cage* yang sesuai untuk laut lepas Indonesia ?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

1. Melakukan analisa *tension* maksimum dari variasi konfigurasi sistem *mooring* pada struktur *aquaculture* model *Collar Cage*.
2. Melakukan analisa *offset* maksimum yang terjadi pada struktur dari variasi beberapa konfigurasi sistem *mooring* pada struktur *aquaculture* model *Collar Cage* .
3. Melakukan analisa perbandingan sistem *mooring* yang paling tepat dan efisien untuk struktur *aquaculture* model *Collar Cage* yang sesuai untuk laut lepas Indonesia.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

1. Mengetahui *tension* maksimum yang dihasilkan dari perbandingan beberapa konfigurasi sistem *mooring* pada struktur *aquaculture* model *Collar Cage* .
2. Mengetahui *offset* maksimum yang terjadi pada struktur dari perbandingan beberapa konfigurasi sistem *mooring* pada struktur *aquaculture* model *Collar Cage* .
3. Mengetahui konfigurasi sistem *mooring* yang paling tepat dan efisien untuk struktur *aquaculture* model *Collar Cage* yang sesuai untuk laut lepas Indonesia.

## 1.5 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan pembahasan dalam tugas ini, maka dibuatlah batasan-batasan masalah dalam pengerjaan tugas ini yakni:

1. Model *offshore aquaculture cage* yang digunakan adalah *collar cage aquaculture* yang dimodifikasi.
2. Lokasi *aquaculture* disesuaikan dengan lingkungan laut lepas di Indonesia.
3. Konfigurasi sistem *mooring* yang dianalisa meliputi tipe *Rectangular Array*, *Linear Array* dan 8 Titik Tambat Tanpa *Buoy*.
4. Jangkar tertancap sempurna dan kuat sehingga tumpuan pada jangkar *fixed* diasumsikan mampu menahan semua beban yang ada.
5. Model struktur disederhanakan saat analisa sistem tambat.
6. Beban lingkungan yang digunakan dalam pembebanan hanya beban gelombang dan arus karena struktur tidak mencapai ketinggian 10 meter.
7. Analisa gelombang dan arus dilakukan pada arah  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ , dan  $90^\circ$ .
8. Beban akibat adanya ikan dalam struktur tidak diperhitungkan.
9. Jaring tidak dimodelkan, namun tetap diperhitungkan dalam analisa.
10. Lokasi penelitian berada di perairan laut lepas selatan Indonesia.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini terdiri dari lima bab.

BAB I Pendahuluan, menjelaskan tentang hal-hal yang melatarbelakangi dilakukannya penelitian, permasalahan yang ingin diselesaikan dengan mengerjakan penelitian, tujuan yang digunakan untuk menjawab permasalahan yang diangkat, manfaat yang diperoleh dari dilakukannya penelitian, hal-hal yang menjadi batasan dalam pengerjaan penelitian, serta penjelasan dari sistematika laporan yang digunakan dalam penelitian.

BAB II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori, berisi tinjauan pustaka serta landasan teori yang dijadikan acuan dalam pengerjaan penelitian tugas akhir ini.

BAB III Metodologi Penelitian, menguraikan tentang langkah-langkah penelitian yang dilakukan. Mulai dari pengumpulan data, pengolahan data, pemodelan, analisa serta hasil yang didapatkan untuk mencapai tujuan.

BAB IV Analisa dan Pembahasan, menggambarkan hasil analisa serta pembahasan yang didapat dari penelitian yang telah dikerjakan dalam tugas akhir ini

BAB V Kesimpulan dan Saran, menjelaskan tentang kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisa dimana menjawab rumusan masalah pada tugas ahir ini serta saran sebagai pertimbangan dalam keperluan penelitian selanjutnya.

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

*Aquaculture* merupakan upaya produksi biota atau organisme perairan dengan membuat kondisi lingkungan yang mirip dengan habitat asli organisme yang dibudidayakan. *Aquaculture* dapat dilakukan di dua tempat, yaitu di darat (*inshore aquaculture*) dan di lepas pantai (*offshore aquaculture*). Penggunaan keramba apung sudah dikembangkan di beberapa negara luar negeri. Beberapa negara maju telah mengembangkan teknologi ini, bahkan Norwegia dan Amerika telah mengalami perkembangan yang pesat dan bersiap untuk menjadikannya komersil. Struktur *aquaculture* termasuk kedalam bangunan lepas pantai terapung. Umumnya bangunan lepas pantai terapung dihubungkan dengan dasar laut menggunakan peralatan mekanik seperti kabel dan rantai. Untuk struktur ini, yang utama adalah mobilitas dan kemampuannya mengantisipasi gerakan akibat gelombang dan arus laut (Hafidz, 2017).

Olivares (2003) melakukan penelitian mengenai desain *aquaculture* yang akan diaplikasikan di perairan Meksiko. Dalam penelitian tersebut, terdapat beberapa variabel yang dipertimbangkan dalam pemilihan desain *aquaculture* seperti spesies yang akan dibudidaya, lokasi struktur, serta parameter desain *aquaculture* tersebut. Hasilnya didapatkan bahwa konsep desain *aquaculture* yang diusulkan untuk perairan tersebut adalah *floating rigid collar cage aquaculture*. Desain ini merupakan jenis yang sama dengan yang akan dianalisa dalam Tugas Akhir ini, tetapi mengalami modifikasi pada struktur pengapung agar bisa diaplikasikan untuk laut lepas Indonesia.

Riset sebelumnya membuktikan bahwa *mooring* tipe *grid* terbukti meminimalkan kerusakan akibat gerak relatif. Konfigurasi sistem tambat ini terbukti stabil dan andal untuk berbagai struktur *aquaculture* lepas pantai. Analisa sistem *aquaculture* tentu tidak terlepas dari sistem tambatnya. Struktur *aquaculture* lepas pantai harus memperhitungkan efek dari gelombang dan arus laut (Hafidz,

2017). Berdasarkan analisa *Finite Element Analysis* (FEA) komponen nonlinear dari arus dan gelombang memiliki efek hingga 13 %. Hal tersebut dapat mempengaruhi elemen pada struktur salah satunya pada sistem penambatannya (Fedriksson, 2005).

Lee dkk. (2008) telah melakukan penelitian mengenai simulasi perilaku dinamis sistem *fish cage* akibat arus dan gelombang dengan permodelan matematis. Dalam penelitian tersebut, sistem *fish cage* dimodelkan dengan model *mass-spring* yang divalidasi dengan eksperimen pada model fisik struktur tersebut.

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 *Aquaculture*

*Aquaculture* merupakan budidaya dan peternakan organisme air dalam kondisi terkendali atau semi-terkendali pada suatu sistem yang dikontrol oleh manusia. Ekosistem dalam *aquaculture* dibuat sedemikian rupa agar menyerupai habitat asli biota laut yang dibudidayakan. *Aquaculture* digunakan untuk berbagai tujuan seperti pengembangbiakkan ikan untuk olah raga atau pemancingan komersial, menyelamatkan spesies yang terancam punah dan untuk pemanenan tanaman komersial yang layak secara komersial baik itu di kolam maupun di perairan pesisir. (Beveridge, 2004).

Berdasarkan lokasinya, terdapat dua kategori *aquaculture* yaitu *inshore aquaculture* dan *offshore aquaculture*. Perbedaan kedua kategori tersebut telah ditunjukkan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Perbedaan *inshore* dan *offshore aquaculture*  
(Sumber Scott dan Muir, 2000)

Characteristics	Coastal (inshore)	Offshore aquaculture
Location/hydrography	0.5-3 km, 10-50 m depth; within sight, usually at least semi-sheltered	2+ km (>1nm), generally within continental shelf zones, possibly open-ocean
Environment	Hs <=3-4 m, usually <=1 m; short period winds, localized coastal currents, possibly strong tidal streams	Hs 5 m or more, regularly 2-3 m, oceanic swells, variable wind periods, possibly less localized current effect
Access	>=95% accessible on at least once daily basis, landing usually possible	Usually >80% accessible, landing may be possible, periodic, e.g., every 3-10 days
Operation	Regular, manual involvement, feeding, monitoring, etc.	Remote operations, automated feeding, distance monitoring, system function

Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa *offshore aquaculture* umumnya berlokasi lebih dari 1 mil laut dari garis pantai dengan kondisi lingkungan yang lebih ganas daripada *inshore aquaculture*. Selain itu *offshore aquaculture* juga di golongan berdasarkan jenis bangunan apung yang digunakan. Berbagai jenis *offshore cage* telah banyak dikembangkan. Jenis-jenis struktur *offshore cage* berdasarkan sifatnya dibagi ke dalam tiga kategori operasional utama yaitu *floating*, *semi-submersible* dan *submersible*, dengan 2 jenis mekanik yaitu : *flexible* dan *rigid*. Pada Tabel 2.2 dijelaskan tentang tipe struktur *aquaculture* dan berbagai contohnya.

Tabel 2.2. Beberapa penggolongan *offshore aquaculture* berdasarkan tipe strukturnya. (Sumber : Scott & Muir, 2000)

Structure type	Examples
Floating flexible	Dunlop, Bridgestone, Ocean Spar Net Pen, plastic circle types (Corelsa, Aqualine, etc.) Aquasystem
Floating rigid	Pisbarca, Cruive
Semi-submersible flexible	Refa
Semi-submersible rigid	Farmocean, Ocean Spar Sea Station
Submersible rigid	Sadco, Trident, Marine Industries, Sea Trek

Berikut ini merupakan penjelasan lebih rinci mengenai tipe dari *offshore aquaculture* :

1. *Floating Cage*.

- a. *Floating Flexible Cages*. Jenis keramba apung ini merupakan keramba yang sudah dikembangkan di Indonesia. Keramba apung ini berbahan dasar selang karet atau pipa karet yang biasa disebut dengan HDPE (*High Density Polyethylene*). Di luar negeri sistem ini diproduksi oleh Bridgestone dan Dunlop. Sedangkan di Indonesia sudah diproduksi oleh PT. Gani Arta Dwi Tunggal atau yang lebih dikenal AquaTec sesuai dengan Gambar 2.1 yang merupakan contoh *floating flexible cage* sudah dilakukan instalasi di Ambon (Baskara, 2017). Contoh lainnya adalah *collar cage*, seperti pada Gambar 2.2.



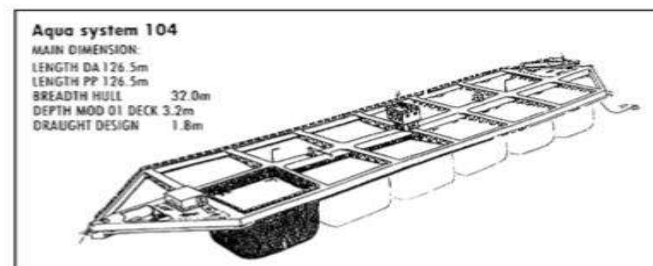


Gambar 2.1. *Floating flexible cage* berbahan HDPE yang terinstal di Ambon. (Baskara, 2017)



Gambar 2.2. *Collar Cage* (Fusion Marine, 2017)

- b. *Floating Rigid Cage*. Struktur didesain lebih kuat dari *floating flexible cage* dengan tujuan untuk menahan gelombang yang lebih besar selain itu dalam struktur ini juga dibuat beberapa fasilitas dalam pengelolaan operasional. Salah satu contohnya adalah Aqua System 104, seperti pada Gambar 2.3.

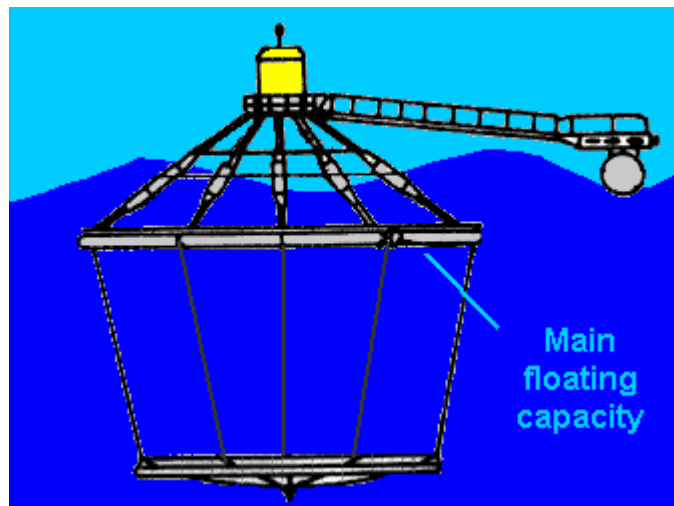


Gambar 2.3. *Aqua System 104*, contoh *Floating Rigid Cage*  
(Sumber : Baskara, 2017)

## 2. *Semi-Submersible*.

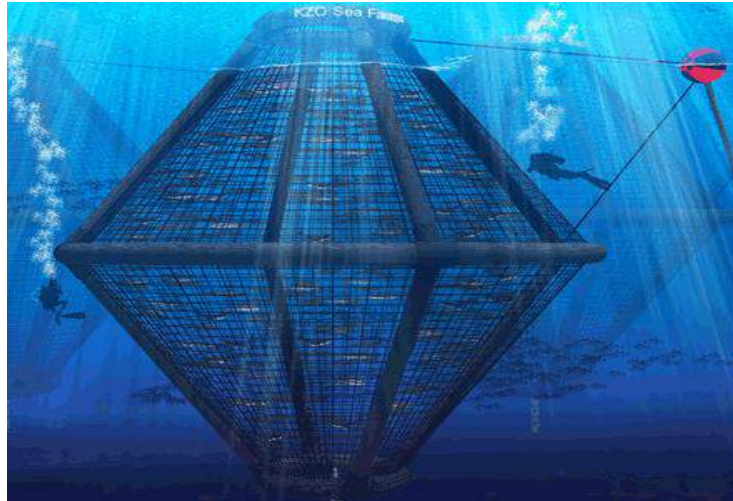
Jenis keramba apung ini merupakan keramba apung yang bagian atasnya terlihat atau berada pada daerah *splash zone* dan bagian bawahnya terendam oleh air. Sehingga tipe keramba apung ini cocok digunakan untuk perairan dalam. Sistem ini dalam dua mode, *surface* dan *sub-surface*, dan perlunya untuk mengontrol secara efektif dan menambah potensi adanya kompleksitas dan risiko.

- a. *Semi-submersible rigid cages*. Keramba ini dirancang dengan elemen kerangka kaku yang hanya memberikan gerakan terbatas dan perubahan volume sebagai respon terhadap beban eksternal. Biasanya struktur rangka terbuat dari baja, dan terdapat sistem *buoyancy* untuk menaikkan atau menurunkan keramba. Dengan struktur yang lebih kaku memungkinkan untuk menambah fasilitas layanan seperti *feeder* ataupun fasilitas lainnya (Baskara, 2017). Contoh *semi-submersible rigid cages* adalah Farmocean Cage seperti pada Gambar 2.4 berikut dan Sea Station pada Gambar 2.5.



Gambar 2.4. *Farmocean cage* yang merupakan contoh dari *Semi-submersible rigid cages*.

(Sumber : <http://www.farmocean.se> , 17 September 2017)



Gambar 2.5. Ilustrasi *Sea Station Cage* (Phil Cruver, 2011)

### 3. *Submersible rigid cages.*

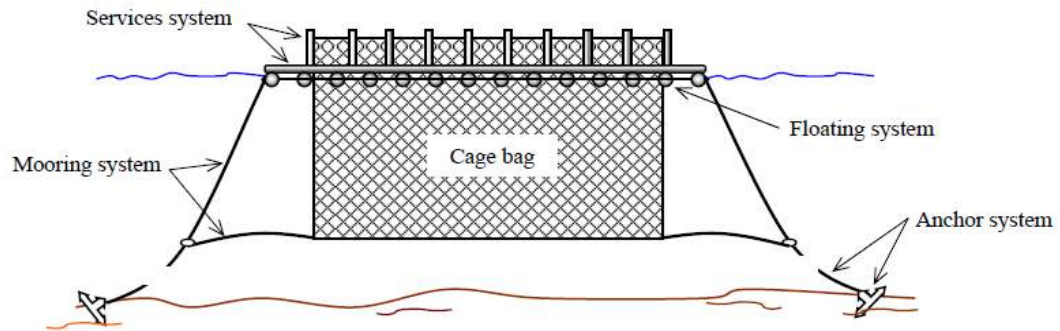
Perairan dalam memiliki kondisi gelombang dan arus yang besar sehingga untuk budidaya di perairan lepas pantai, di mana ketinggian gelombang sangat penting untuk dipertimbangkan, desain *submersible* ini salah satu cara untuk menghindari dampak terburuk dari kondisi permukaan yang ekstrim. Sistem pada keramba ini bisa beroperasi tanpa pengawasan oleh unit permukaan, diakses hanya bila diperlukan. Berbagai desain telah diusulkan termasuk oleh SADCO, Trident dan Marine Industries. Pada Gambar 2.6, SADCO *Cage* dengan tipe *Submersible* namun dalam keadaan *service/maintenance*, sehingga struktur muncul dipermukaan laut (Baskara, 2017).



Gambar 2.6 Sadco *Cage* contoh dari *Submersible rigid cages*  
(Sumber : Baskara, 2017)

### 2.2.2 Layout dan Bentuk Struktur *Collar Cage Aquaculture*

*Collar cage aquaculture* seperti halnya jenis struktur aquaculture pada umumnya terdiri dari beberapa komponen utama yaitu : *floating system*, *mooring system*, *anchor system*, *net cage* and *services system* seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.7.



Gambar 2.7. *Layout Cage Aquaculture* (Olivares, 2003)

#### 1. Floating System

*Floating system* berfungsi untuk memberikan daya apung pada sistem serta mempertahankan bentuk *cage*. Bahan pengapung yang umum digunakan meliputi drum logam atau plastik, pipa polietilen densitas tinggi (HDPE), ban karet dan drum logam yang dilapisi dengan tar atau *fiberglass*.

#### 2. Service System

Sistem ini adalah sistem yang diperlukan untuk menyediakan layanan operasi dan perawatan, misalnya: pemberian makan, pembersihan, pemantauan atau penilaian ikan di *aquaculture*. Salah satu cara untuk menyediakan sistem ini adalah dengan memasang *catwalk* di sekitar *cage* atau di sepanjang bagian *cage*. Pada *collar cage aquaculture*, sistem pengapung (*collar*) juga dapat difungsikan sebagai *catwalk*.

#### 3. Cage Bag

*Cage bag* berfungsi untuk menampung dan melindungi ikan serta menyediakan habitat laut. Jaring biasanya fleksibel dan terbuat dari serat nilon sintetis atau polyethylene yang diperkuat dengan tali.

#### 4. Mooring System

*Mooring system* berperan untuk mempertahankan *cage* dalam posisinya. *Mooring system* harus cukup kuat untuk dapat menahan kombinasi dari beban arus, angin, dan gelombang tanpa bergeser atau putus dalam kondisi cuaca terburuk. Bahan yang digunakan dalam *mooring system* adalah *sea steel line*, rantai, tali plastik bertulang dan konektor mekanis.

#### 5. Anchor System

*Anchor system* berfungsi untuk menahan *cage* dan semua komponen di situs tertentu di dasar laut dan terhubung ke *cage* oleh *mooring system*. Pada dasarnya terdapat tiga jenis *anchor system*: *pile anchor*, *dead weight* dan jangkar yang mendapatkan kekuatan mereka dengan cara berinteraksi dengan dasar laut. *Anchor* terhubung ke sistem tambat biasanya dengan rantai dan konektor logam.

### 2.2.3 Pipa High Density Polyethylene (HDPE)

Pipa HDPE adalah pipa yang terbuat dari bahan polyethylene dengan kepadatan tinggi sehingga jenis pipa yang dihasilkan dapat menahan gaya tekan yang lebih tinggi, kuat, lentur dan tahan terhadap bahan kimia. HDPE (High Density Polyethylene) adalah polietilena termoplastik yang terbuat dari minyak bumi. Untuk membuat 1 kg HDPE diperlukan 1,75 kg minyak bumi (sebagai energi dan bahan baku). HDPE memiliki kekuatan tensil dan gaya antar molekul yang tinggi. Bahan HDPE juga lebih keras dan bisa bertahan pada temperatur tinggi (120°C).

Pipa HDPE memiliki karakteristik yang lentur, sehingga dapat mengurangi penggunaan *fitting* atau sambungan. Pipa HDPE tidak mempunyai potensi untuk mengkontaminasi air. Pipa HDPE dapat digunakan untuk pipa instalasi air panas dan air dingin (Aziz, 2015).

### 2.2.4 Hukum Archimedes

Hukum *Archimedes* merupakan prinsip dasar dari seluruh struktur terapung. Hukum ini menyatakan bahwa ketika sebuah benda tercelup seluruhnya atau

sebagian di dalam zat cair, zat cair akan memberikan gaya ke atas (gaya apung) pada benda, dimana besarnya gaya keatas (gaya apung) sama dengan berat zat cair yang dipindahkan (Baskara, 2017). Berdasarkan hukum *Archimedes*, sebuah benda akan mengapung jika massa jenis benda tersebut lebih kecil daripada massa jenis zat cair. Hukum Archimedes sendiri mempunyai persamaan dasar sebagai berikut :







$$F_A = \rho_A \times V_A \times g \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan:

- $F_A$  = Gaya keatas yang dialami benda (N)
- $\rho_A$  = Massa Jenis zat cair ( $\text{kg/m}^3$ )
- $V_A$  = Volume air yang terdesak ( $\text{m}^3$ )
- $g$  = Percepatan Gravitasi ( $\text{m/det}^2$ )

#### 2.2.5 Teori Dasar Gerak Bangunan Apung

Bangunan apung akan mengalami gerakan osilasi akibat eksitasi gelombang dengan asumsi bangunan laut dianggap sebagai benda yang benar-benar padat (*perfectly rigid body*) dan terapung dipermukaan air baik dalam keadaan tenang (*still water*) maupun dalam keadaan bergoyang (*disturbed water*). Gerakan osilasi bangunan laut terdiri dari 6 macam gerakan yaitu 3 gerakan translasi dan 3 gerakan rotasional dalam 3 arah sumbu gerakan. Gerakan ini juga disebut sebagai 6 derajat kebebasan, yaitu antara lain:

-  *Surge*, gerakan transversal arah sumbu x
-  *Sway*, gerakan transversal arah sumbu y
-  *Heave*, gerakan transversal arah sumbu z
-  *Roll*, gerakan rotasi arah sumbu x
-  *Pitch*, gerakan rotasi arah sumbu y
-  *Yaw*, gerakan rotasi arah sumbu z

##### a. Heave

*Heave* adalah gerakan osilasi translasi pada arah sumbu vertikal (sumbu z), Secara umum persamaan gerakan heaving suatu bangunan apung pada gelombang reguler adalah :

$$a\ddot{Z} + b\dot{Z} + cZ = F_0 \cos(\omega_\theta t) \dots\dots\dots (2.2)$$

dengan :

$$\begin{aligned} a\ddot{Z} &= \textit{Inertial force} \\ b\dot{Z} &= \textit{Damping force} \\ cZ &= \textit{Restoring force} \\ F_0 \cos(\omega_\theta t) &= \textit{Exciting force} \end{aligned}$$

b. Surge

*Surge* adalah gerakan osilasi translasi pada arah sumbu longitudinal (sumbu x), Secara umum persamaan gerakan surge suatu bangunan apung pada gelombang reguler adalah :

$$a\ddot{X} + b\dot{X} + cX = F_0 \cos(\omega_\theta t) \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan :

$$\begin{aligned} a\ddot{X} &= \textit{Inertial force} \\ b\dot{X} &= \textit{Damping force} \\ cX &= \textit{Restoring force} \\ F_0 \cos(\omega_\theta t) &= \textit{Exciting force} \end{aligned}$$

c. Sway

*Sway* merupakan gerak translasi pada bangunan terapung dengan sumbu y sebagai pusat gerak. Persamaan umum bangunan apung pada kondisi *swaying* adalah :

$$a\ddot{Y} + b\dot{Y} + cY = F_0 \cos(\omega_\theta t) \dots\dots\dots (2.4)$$

dengan :

$$\begin{aligned} a\ddot{Y} &= \textit{Inertial force} \\ b\dot{Y} &= \textit{Damping force} \\ cY &= \textit{Restoring force} \\ F_0 \cos(\omega_\theta t) &= \textit{Exciting force} \end{aligned}$$

d. Roll

*Rolling* merupakan gerak rotasional dengan sumbu X sebagai pusat geraknya. Gerakan ini akan berpengaruh terhadap *initial velocity* sehingga perlu dilakukan perhitungan terhadap momen gaya. Rumus umum dari persamaan gerak akibat *rolling* ialah :

$$a\ddot{\phi} + b\dot{\phi} + c\phi = M_0 \cos(\omega_{\theta} t) \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan :

$M_0$	= Amplitudo momen eksitasi (m)
$\omega_{\theta}$	= Frekuensi gelombang <i>encountering</i> (hz)
$a\ddot{\phi}$	= <i>Inertial moment</i>
$b\dot{\phi}$	= <i>Damping Moment</i>
$c\phi$	= <i>Restoring Momen</i>
$M_0 \cos(\omega_{\theta} t)$	= <i>Exciting moment</i>

e. Pitch

*Pitching* merupakan gerak rotasional dengan sumbu Y sebagai pusat gerak. Karena gerak pitching akan berpengaruh terhadap kesetimbangan posisi, maka momen yang terjadi akibat *pitching* perlu diperhitungkan. Rumus umum dari persamaan gerakan akibat pitching adalah :

$$a\ddot{\theta} + b\dot{\theta} + c\theta = M_0 \cos(\omega_{\theta} t) \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan :

$M_0$	= Amplitudo momen eksitasi (m)
$\omega_{\theta}$	= Frekuensi gelombang <i>encountering</i> (hz)
$a\ddot{\theta}$	= <i>Inertial moment</i>
$b\dot{\theta}$	= <i>Damping Moment</i>
$C\theta$	= <i>Restoring Moment</i>
$M_0 \cos(\omega_{\theta} t)$	= <i>Exciting moment</i>



f. Yaw

Gerak *yaw* merupakan gerak rotasional pada sumbu Z sebagai pusat gerak. Sama halnya seperti pada gerak *rolling* dan *pitching*, gerak ini pun akan berpengaruh terhadap kesetimbangan struktur, sehingga perlu memperhitungkan momen gaya. Persamaan umum untuk *yawing* ialah :

$$a\ddot{\varphi} + b\dot{\varphi} + c\varphi = M_0 \cos(\omega_{\theta} t) \dots \dots \dots (2.7)$$

dengan :

$M_0$	= Amplitudo momen eksitasi (m)
$\omega_{\theta}$	= Frekuensi gelombang <i>encountering</i> (hz)
$a\varphi$	= <i>Inertial moment</i>
$b\varphi$	= <i>Damping Moment</i>
$c\varphi$	= <i>Restoring Moment</i>
$M_0 \cos(\omega_{\theta} t)$	= <i>Exciting moment</i>

## 2.2.6 Spektra Gelombang

Spektra gelombang merupakan grafik kepadatan energi yang termuat dalam suatu gelombang acak. Salah satu model spektra yang diajukan oleh Pierson Morkowitz (1964) dan masih secara luas digunakan. Aplikasi umum dari satu parameter spektrum gelombang Pierson Morkowitz dibatasi oleh fakta jika kondisi laut kadang dijangkau secara penuh situasi dikembangkan. Pengembangan dari laut juga dibatasi oleh *fetch*. Secara luas program pengukuran gelombang, diketahui sebagai *Joint North Sea Wave Project* (JONSWAP) yang berasal dari laut utara. Dari analisa dari pengukuran data JONSWAP spektrum diturunkan. Perumusan spektrum JONSWAP mewakili angin dengan batasan *fetch*. Spektrum gelombang yang dipakai dalam tugas akhir ini adalah spektrum JONSWAP. Persamaan spektrum JONSWAP merupakan modifikasi dari persamaan spektrum Pierson - Morkowitz yang disesuaikan dengan kondisi laut yang ada. Persamaan spektrum JONSWAP menurut Djatmiko (2012) dapat ditulis sesuai dengan persamaan berikut :

$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp \left[ -1.25 \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^{-4} \right] \gamma^{\exp \left[ \frac{(\omega - \omega_0)^2}{2\tau \omega_0^2} \right]} \dots\dots\dots (2.8)$$

dengan :

$$\alpha = 0.0076(X_0)^{-0.22}$$

$\alpha = 0.0081$ , jika panjang  $X$  tidak diketahui

$$X_0 = \frac{gX}{U_w^2}$$

$\gamma$  = parameter ketinggian atau peakedness parameter, yang harganya dapat

bervariasi, yaitu  $\gamma = 5$  apabila  $\frac{T_p}{\sqrt{H_s}} \leq 3.6$

$$\gamma = e^{5.75 - 1.15 \frac{T_p}{\sqrt{H_s}}} \text{ apabila } 3.6 \leq \frac{T_p}{\sqrt{H_s}} < 5$$

$$\gamma = 1 \text{ apabila } 5 \leq \frac{T_p}{\sqrt{H_s}}$$

$\tau$  = parameter bentuk atau *shape parameter*

$$\tau = 0.07 \text{ jika } \omega \leq \omega_0$$

$$\tau = 0.09 \text{ jika } \omega \geq \omega_0$$

$$\omega_0 = 2 \pi \left( \frac{g}{u_\omega} \right) (X_0)^{-0.33}$$

Formulasi spectra JONSWAP akhir-akhir ini banyak dipakai dalam perancangan dan analisa bangunan lepas pantai yang dioperasikan di Indonesia. Hal ini cukup dapat dimengerti karena perairan Indonesia di mana kebanyakan bangunan lepas pantai untuk kegiatan migas dioperasikan adalah perairan kepulauan atau tertutup. Namun dari sejumlah kajian, untuk perairan Indonesia disarankan memakai parameter yang lebih kecil, sekitar 2.0 sampai 2.5. Hal ini pada intinya adalah untuk mengurangi dominasi energi yang dikontribusikan oleh frekuensi gelombang tertentu saja (Djarmiko, 2012). Persamaan Spektra JONSWAP di atas menggunakan input *fetch* dan kecepatan angin. Berikut ini merupakan Persamaan spektrum JONSWAP yang menggunakan input tinggi gelombang signifikan dan periode. Persamaannya adalah sebagai berikut :

$$S(\omega) = 155 \frac{H_s^2}{T^4 \omega^4} \exp \left( -\frac{944}{T^4 \omega^4} \right) \gamma^\alpha \dots\dots\dots (2.9)$$

### 2.2.7 Response Amplitude Operator (RAO)

*Response Amplitude Operator* (RAO) adalah fungsi respon yang terjadi akibat gelombang dalam rentang frekuensi yang mengenai struktur. Hal ini dikarenakan RAO adalah alat untuk mentransfer beban luar (gelombang) dalam bentuk respon pada suatu struktur. Menurut Djatmiko (2012), respon gerakan RAO terbagi menjadi dua yaitu :

- a. Respon gerakan RAO untuk gerakan translasi *surge*, *sway*, dan *heave* ( $k = 1, 2, 3$  atau  $x, y, z$ ) yang merupakan perbandingan langsung antara amplitudo gerakannya dibanding dengan amplitudo gelombang (dalam satuan panjang) dengan persamaan sebagai berikut :

$$RAO = \frac{\zeta_{k0}}{\zeta_0} (m/m) \dots \dots \dots (2.10)$$

- b. RAO untuk gerakan rotasi *roll*, *pitch*, dan *yaw* ( $k = 4, 5, 6$  atau  $\theta, \Phi, \psi$ ) yang merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan rotasi dengan kemiringan gelombang (hasil kali antara angka gelombang dengan amplitudo gelombang insiden) dengan persamaan sebagai berikut :

$$RAO = \frac{\zeta_{k0}}{k_w \zeta_0} = \frac{\zeta_{k0}}{\left(\frac{\omega^2}{g}\right) \zeta_0} (rad/rad) \dots \dots \dots (2.11)$$

### 2.2.8 Respon Gerak Bangunan Laut di Gelombang Acak

Hasil dekomposisi gelombang acak dapat diwakilkan dalam kurva spektra  $S_{\zeta}(\omega)$  yang bisa dibagi pias-pias berdasarkan kenaikan frekuensi. Sedangkan komponen respons sinusoidal dapat diwakilkan dalam kurva RAO. Respon spektrum didefinisikan sebagai *response energy density* pada struktur akibat gelombang, dalam hal ini berupa *energy density spectrum*. Pada sistem linier, respon spektra didapat dengan mengkuadratkan RAO yang kemudian dikalikan dengan spektra gelombang (Chakrabarti, 1987), yang dapat ditulis sebagai persamaan berikut ini :

$$S_{\zeta r}(\omega) = [RAO]^2 \cdot S_{\zeta}(\omega) \dots \dots \dots (2.12)$$

dengan :

$(\omega)$  = Energi gelombang

$(\omega)$  = Energi respons

### 2.2.9 Konsep Pembebanan

Dalam menentukan kemampuan struktur lepas pantai, struktur akan dipengaruhi beban yang terjadi pada bangunan tersebut. Terdapat 4 beban yang harus dipertimbangkan dalam perancangan bangunan lepas pantai (Baskara, 2017):

a. Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati adalah semua beban yang berasal dari berat struktur, termasuk segala unsur tambahan tetap yang merupakan kesatuan dengan struktur tersebut. Misalkan : berat struktur, berat peralatan, dan berat permesinan yang digunakan ketika struktur tidak beroperasi.

b. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup adalah beban yang terjadi selama struktur melakukan fungsinya dan tidak berubah dari mode operasi satu ke mode operasi lainnya atau semua beban tidak tetap, kecuali beban angin, beban gempa dan pengaruh khusus lainnya. Meskipun dapat berpindah-pindah, beban hidup masih dapat diperhitungkan berdasarkan perhitungan sistematis. Contoh beban hidup adalah beban pengoperasian mesin dan peralatan yang digunakan selama operasi struktur, termasuk didalamnya operasi *crane*.

c. Beban Kecelakaan (*Accidental Load*)

Beban kecelakaan merupakan beban yang tidak terduga sebelumnya pada bangunan lepas pantai. Beban kecelakaan biasanya terjadi karena putusnya tali tambat (rantai jangkar), putusnya tali control, tabrakan dengan kapal dan lain-lain.

d. Beban Lingkungan (*Environmental Load*)

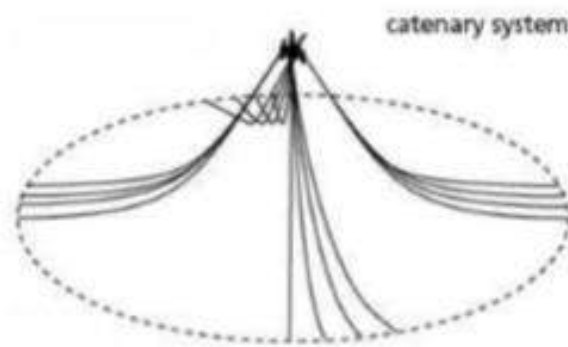
Beban lingkungan adalah beban yang terjadi karena adanya pengaruh lingkungan dimana struktur dioperasikan. Beban lingkungan yang terjadi pada struktur *aquaculture* ini adalah beban gelombang dan beban arus.

### 2.2.10 Sistem Mooring

Menurut API RP 2SK 3rd tahun 2005, terdapat tiga tipe sistem tambat yang dibedakan yaitu *spread mooring*, *single point mooring* dan *dynamic positioning* (DP). *Spread mooring* merupakan sistem tambat yang sangat baik digunakan untuk bangunan apung berbentuk seperti kapal (*ship-shaped vessels*). Seiring dengan perkembangan jaman, *spread mooring* lebih banyak digunakan untuk bangunan tidak berbentuk seperti kapal. Hal itu dikarenakan sensitivitas terhadap arah datang lingkungan yang rendah. *Spread mooring* dibedakan menjadi dua tipe yaitu :

#### a. Catenary Mooring

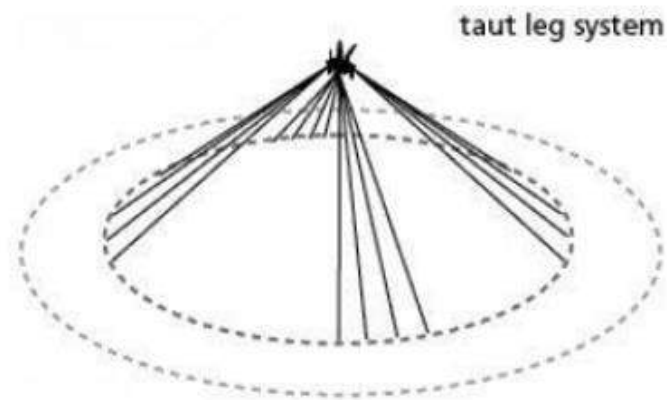
*Catenary mooring* merupakan mooring yang digunakan pada kondisi perairan dangkal menuju dalam. Pada sistem tambat ini gaya pengembali dilakukan oleh berat dari *mooring lines*. Model *catenary mooring* dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Konfigurasi Sistem Tambat Tipe *Catenary* (Baskara, 2017)

#### c. Taut Leg Mooring

Taut *Leg Mooring* merupakan *mooring* yang di gunakan pada kondisi laut dalam. Sistem *mooring* ini akan membentuk sudut antara tali tambat dengan dasar laut sehingga dapat menahan gaya horizontal dan vertikal, seperti terlihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Konfigurasi Sistem Tambat Tipe *Taut Leg* (Baskara, 2017)

Menurut Walsh Marine Buoys, jenis sistem mooring khusus dibutuhkan untuk sistem *aquaculture*. Ada dua opsi tambat : *Slack Mooring* dan *Pra-Stressed Mooring*.

a. *Slack Mooring*

*Slack mooring* lebih umum digunakan untuk kapal, yang memungkinkan mereka hanyut di sekitar satu titik jangkar.

b. *Pra-Stressed Mooring*

Sistem pra-stres disesuaikan dengan baik untuk digunakan dalam konstruksi kandang kandang yang fleksibel. Dalam sistem yang dirancang dengan benar, kekuatan akan tersebar luas di seluruh peternakan. Pre-stressing dari sistem tambat dilakukan pada saat air pasang dan kekuatannya bisa sampai beberapa ton kilonewton.

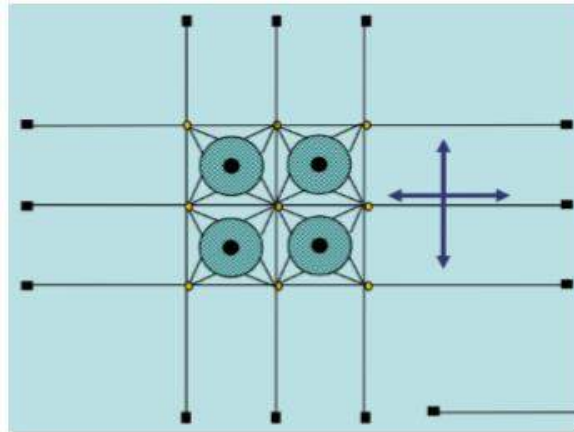
Menurut buku *Aquaculture Operation in Floating HDPE Cages*, *mooring system* dibagi menjadi dua komponen besar, yaitu *mooring lines* dan *grid system*. *Mooring lines* termasuk didalamnya : *anchors*, *ground chains*, *ropes and related shackles*, dan *buoys*. Dan *grid system* termasuk didalamnya : *frame ropes*, *mooring buoys*, *connector rings or plates*, *bridles*, dan *related shackles*.

### 2.2.11 Metode Tambat Aquaculture

Dengan berkembangnya teknologi *aquaculture* ke laut dalam maka praktik sistem penambatan yang biasa digunakan dalam industri perikanan ternak ini juga berkembang. Berikut ini beberapa konfigurasi tambat atau umum disebut *grid*

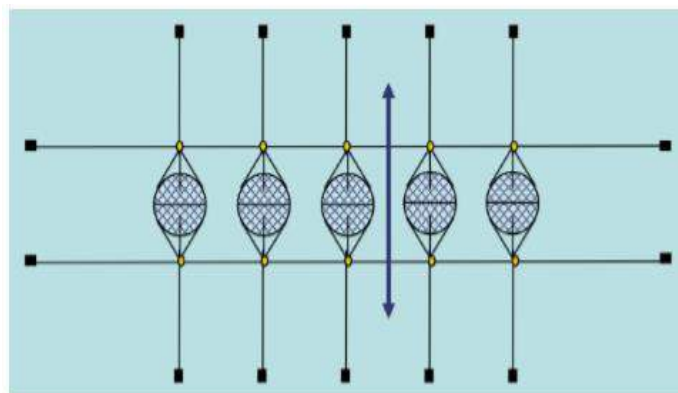
*system* yang biasa digunakan dalam *aquaculture* (WAS *Aquaculture*, 2009), yaitu pada Gambar 2.10, dan Gambar 2.11. Sedangkan pada Gambar 2.12 merupakan konfigurasi variasi sendiri.

a. *Rectangular Array*



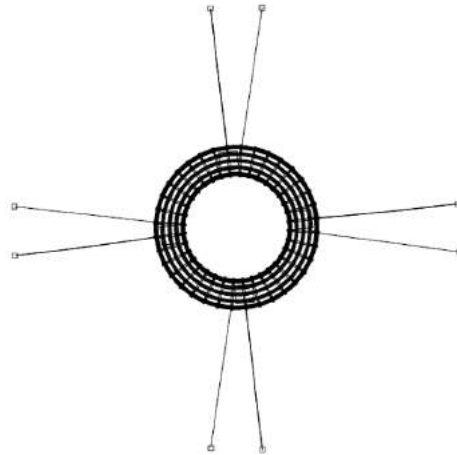
Gambar 2.10 *Mooring* Konfigurasi Jajaran Persegi

b. *Linear Array*



Gambar 2.11. *Mooring* Konfigurasi Jajaran *Linear*

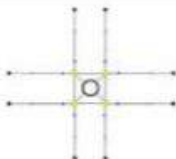
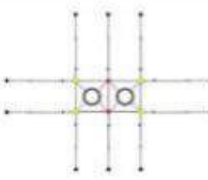
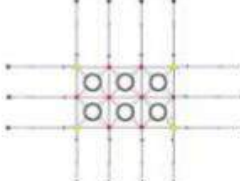
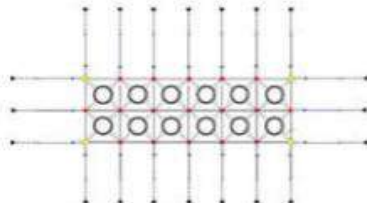
c. Sistem Grid Variasi Tanpa Buoy



Gambar 2.12. *Mooring* Konfigurasi 8 Titik Tambat Tanpa Buoy  
(Dokumentasi Penulis, 2017)

Menurut Cardia dan Lovatelli (2015) menyatakan bahwa perbedaan banyaknya *cage*, akan menunjukkan perbedaan pada sistem grid dan banyaknya *mooring line* yang berlaku. Berikut ini penjelasannya pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Sistem Grid *Collar Cage Aquaculture*

Farm module	No. cages	No. mooring lines	No. mooring lines/cage
	1	8	8
	2	10	5
	6	14	2.33
	12	20	1.66



### 2.2.12 Tension Mooring

Gerakan akibat dari beban lingkungan menyebabkan adanya tarikan (tension) pada *mooring*. Dalam kriteria ini struktur dinyatakan gagal apabila kegagalan struktur terjadi secara global. Dalam DNVGL OS-E301 analisa yang dilakukan merupakan analisa *Load and Resistance Factor Design* (LRFD). Dalam analisa LRFD kekuatan suatu struktur ditentukan berdasarkan perbandingan antara karakteristik kekuatan struktur dengan karakteristik beban. Kedua karakteristik tersebut diberikan nilai keamanan atau *safety factor* untuk tiap elemennya secara parsial disesuaikan dengan kondisi pembebanan sehingga memiliki desain yang lebih efisien dibanding pendekatan WSD. Pada analisa *mooring line* beban yang terjadi merupakan *tension* pada *mooring line*. Faktor beban berupa *tension* tersebut di tahan oleh maksimum *breaking load*. Sehingga kekuatan sistem / *allowable tension mooring* merupakan perbandingan maksimum *breaking load* dengan *safety factor*. Selanjutnya nilai dari *tension* pada *mooring line* dicek menggunakan *unity check* untuk mengetahui apakah *tension* yang terjadi melebihi *allowable tension* atau tidak. Jika nilai  $UC > 1$ , maka *tension* yang terjadi melebihi *allowable tension*.

$$Allowable\ tension = \frac{Maximum\ Breaking\ Load}{Safety\ Factor} \dots\dots\dots(2.13)$$

$$UC = \frac{Maximum\ Tension}{Allowable\ Tension} \dots\dots\dots(2.14)$$

*Safety factor* yang digunakan dipilih berdasarkan dua tingkat konsekuensi.

Tingkat konsekuensi 1 lebih besar konsekuensinya dibandingkan tingkat 2. Besar faktor keamanannya dapat dilihat pada Tabel 2.4 dibawah.

Tabel 2.4. *Safety factor* Parsial untuk Analisa ULS  
(DNVGL OS-E301, 2015)

Consequence Class	Type of analysis of wave frequency tension	Partial Safety factor on mean tension $\gamma_{mean}$	Partial Safety factor on dynamic tension $\gamma_{dyn}$
1	Dynamic	1.10	1.50
2	Dynamic	1.40	2.10
1	Quasi-static	1.70	
2	Quasi-static	2.50	

### 2.2.13 Offset

Efek dari beban lingkungan yang terjadi pada struktur menyebabkan struktur bergerak sejauh kemampuan dari *mooring line*. Pergerakan horizontal pada *mooring* pada dasarnya memiliki korelasi terhadap perubahan *tension* pada *mooring line*.

### 2.2.14 Motion Struktur

Setelah perhitungan spektra respons, dapat dicari besarnya gerakan struktur dengan terlebih dahulu menghitung luasan dibawah spektra ( $m_0$ ) kemudian harga stokastik amplitudo dari respons gerakan struktur dapat dicari dengan persamaan berikut :

$$A_s = \frac{4 \sqrt{m_0}}{2} \dots\dots\dots(2.15)$$

$$A_{av} = \frac{2,5 \sqrt{m_0}}{2} \dots\dots\dots(2.16)$$

$$A_{1/10} = \frac{5,08 \sqrt{m_0}}{2} = 1,2765 H_s \dots\dots\dots(2.17)$$

dengan :

$A_s$  = Amplitudo signifikan, yakni harga rata-rata dari sepertiga amplitudo terbesar.

$A_{av}$  = Amplitudo rata-rata keseluruhan.

$A_{1/10}$  = Amplitudo rata-rata sepersepuluh terbesar.

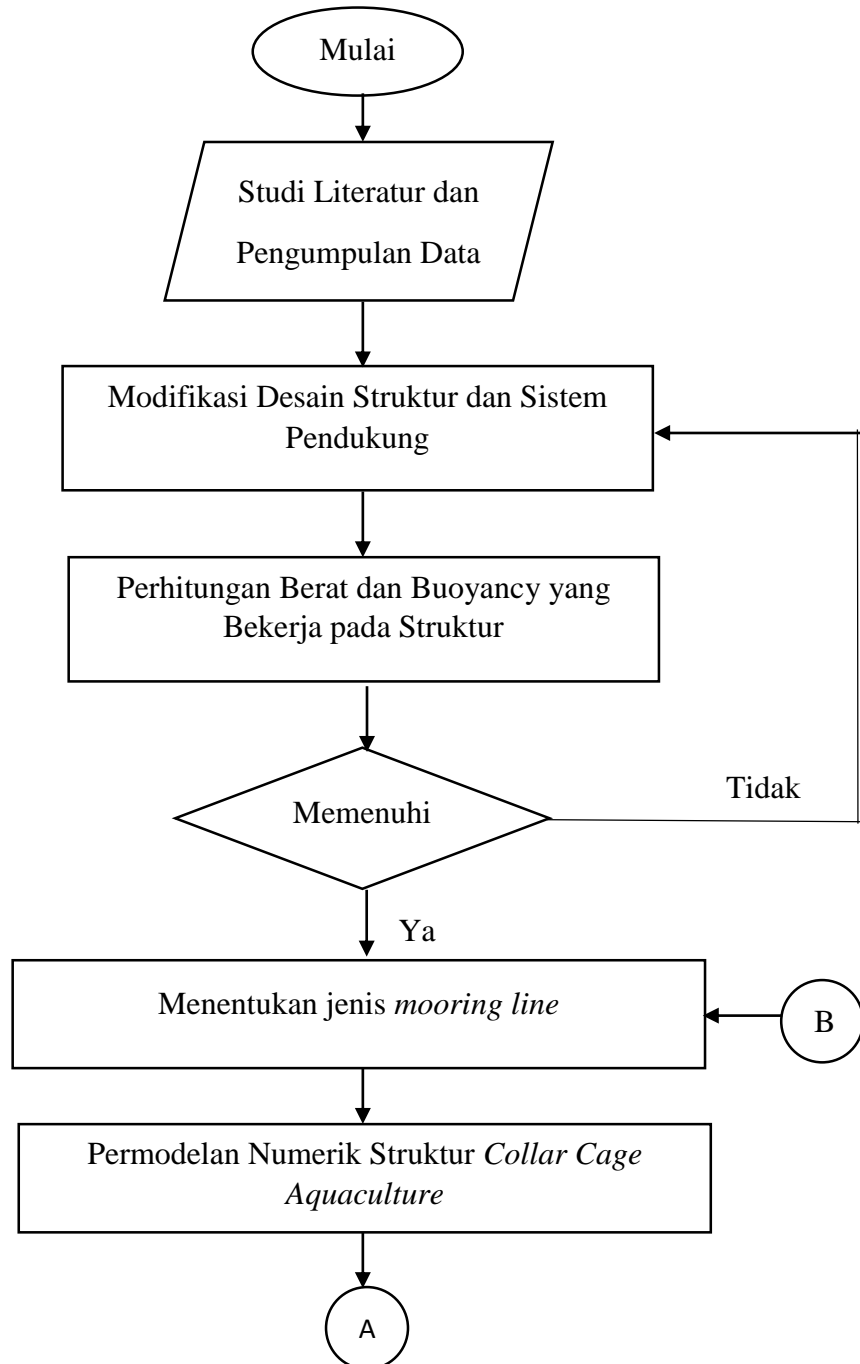
**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

### BAB III

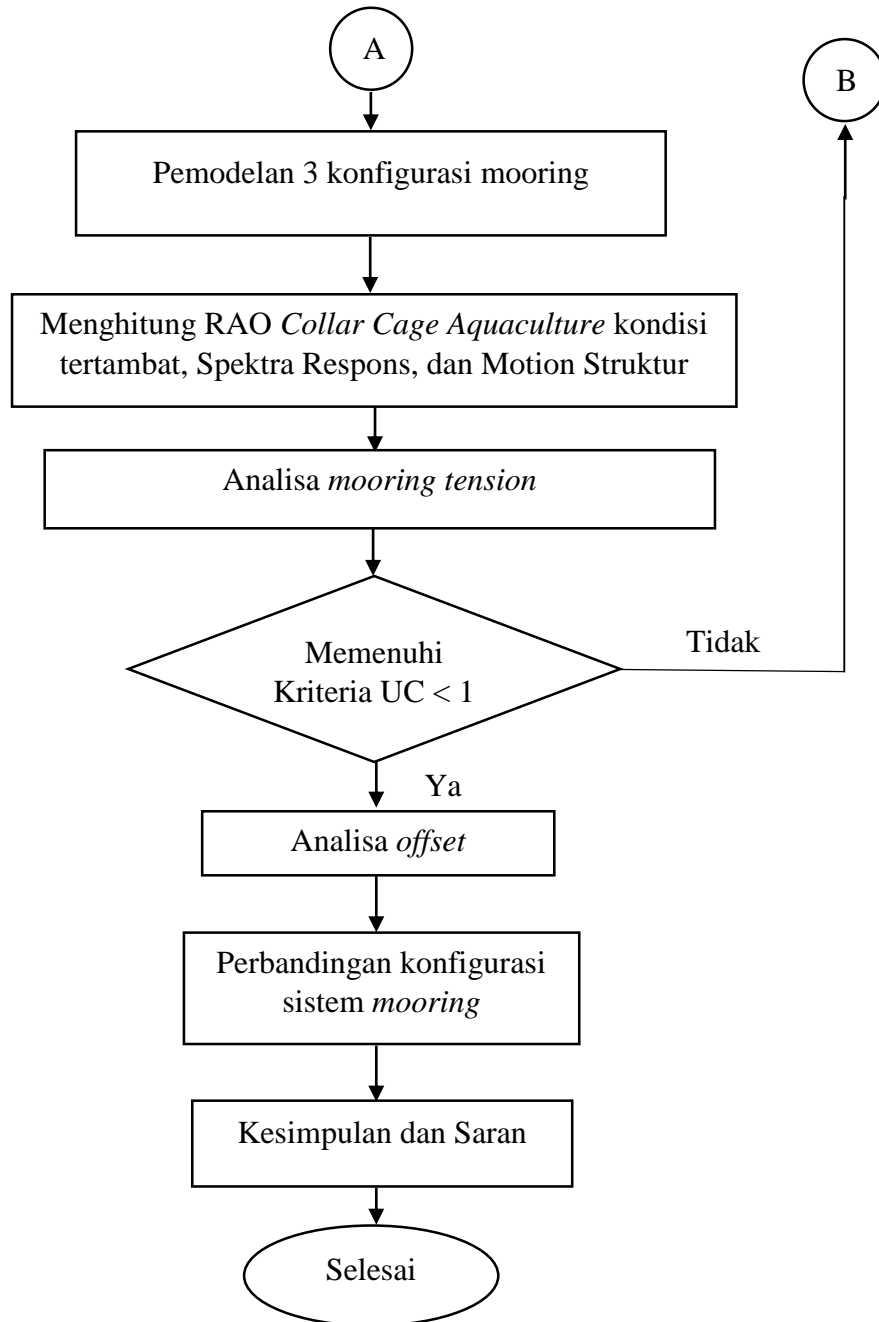
#### METODOLOGI PENELITIAN

##### 3.1 Diagram Alir Penelitian Umum

Penjelasan mengenai alur penelitian yang digunakan dalam tugas akhir dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir



Gambar 3.2 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (lanjutan)

### 3.2 Prosedur Penelitian

Berdasarkan Gambar 3.1 dan Gambar 3.2, prosedur yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

### 1. Studi Literatur

Mencari serta mempelajari buku, jurnal, ataupun laporan tugas akhir terdahulu yang membahas pokok permasalahan yang sama atau mirip dengan tugas akhir ini. Literatur tersebut digunakan sebagai bahan-bahan referensi dan sumber teori-teori yang diperlukan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

### 2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data berdasarkan data dari buku-buku yang membahas tentang kriteria ukuran struktur *collar cage*, dan data lingkungan. Data yang dibutuhkan antara lain:

- a. Data ukuran dan volume struktur *aquaculture* yang sudah ada sebelumnya.
- b. Kriteria ukuran pipa HDPE serta ukuran struktur yang memenuhi.
- c. Data lingkungan Laut Timor yaitu  $H_s$  sebesar 4,8 m,  $T_p$  sebesar 11,5 s, dan data Kecepatan Arus sebesar 1,1 m/s.

### 3. Modifikasi Desain Struktur dan Sistem Pendukung

Pada tahapan ini, desain *aquaculture* yang baru dengan modifikasi, direncanakan menyesuaikan dari ukuran dan volume struktur *aquaculture* yang sudah ada penelitian sebelumnya. Modifikasi dilakukan agar struktur dapat menyesuaikan dengan kondisi dan lingkungan yang ada. Parameter yang direncanakan antara lain: bentuk dan ukuran struktur *aquaculture* serta desain pendukung yang diperlukan. Desain dari *Collar Cage* yang dibuat menggunakan software Autodesk Inventor 2015.

### 4. Perhitungan Berat dan Buoyancy yang Bekerja pada Struktur

Pada tahap ini dilakukan perhitungan berat struktur, beban yang bekerja pada struktur, dan *bouyancy* untuk mengetahui apakah desain yang telah ditentukan memiliki gaya angkat yang lebih besar dibanding gaya beratnya. Dalam menganalisa olah gerak suatu struktur bangunan laut perlu dilakukan analisa beban yang bekerja.

### 5. Penentuan Mooring Line

Pemilihan jenis *mooring line* dan ukuran dimensi dari mooring line diestimasikan sesuai *catalogue mooring line* yang tersedia dipasaran.

Panjang *mooring line* disesuaikan dengan kedalaman laut perencanaan. *Mooring line* yang digunakan adalah Nylon jenis SN81-120220-DY dengan maximum *tension* 2501,5 kN.

6. Pemodelan Numerik Struktur Collar Cage

Struktur *collar cage* yang telah dirancang, kemudian dimodelkan pada software ANSYS AQWA 16.0 untuk analisa lebih lanjut.

7. Pemodelan 3 Konfigurasi Mooring

Dari dimensi yang telah ditentukan pada tahap sebelumnya, struktur *Collar Cage* dimodelkan dengan tiga konfigurasi mooring yaitu *rectangular array mooring grid*, *linear array mooring grid*, dan 8 Titik Tambat Tanpa Buoy. Ketiga model tersebut dibuat secara terpisah.

8. Perhitungan RAO, Spektra Respons, dan Motion Struktur

Setelah dilakukan pemodelan numerik, selanjutnya adalah analisis RAO struktur, untuk selanjutnya digunakan untuk menghitung Spektra Respon, dan *Motion* Struktur.

9. Analisa Mooring Tension dan Offset

Dari pemodelan sistem tambat pada tahap sebelumnya kemudian struktur dianalisa tension pada tiap *mooring line* dan *offset*-nya. Untuk mooring tension dianalisis apakah sudah memenuhi kriteria  $UC < 1$  atau belum.

10. Perbandingan Konfigurasi Sistem Mooring

Tahap terakhir adalah menganalisa hasil dari ketiga konfigurasi. Setelah didapatkan hasil terbesar dari ketiga konfigurasinya, maka dilakukan perbandingan untuk mendapatkan konfigurasi yang paling baik dan efisien, gerakan struktur yang paling rendah, serta *mooring tension* dan *offset* yang terkecil. Perbandingan dan pengambilan keputusan dilakukan menggunakan metode AHP.

### 3.3 Pengumpulan Data

#### 3.3.1 Data Lingkungan

Data yang dibutuhkan dalam analisa ini adalah data lingkungan. Data lingkungan yang digunakan adalah data perairan lepas Laut Selatan Indonesia. Data

lingkungan diambil dari DNV OS E301 yaitu data Laut Timor dengan kondisi tidak badai, dimana di Laut Timor merupakan laut bagian selatan Indonesia yang merupakan daerah dapat ditemukan ikan tuna. Tabel 3.1 berikut ini adalah data lingkungan yang dibutuhkan.

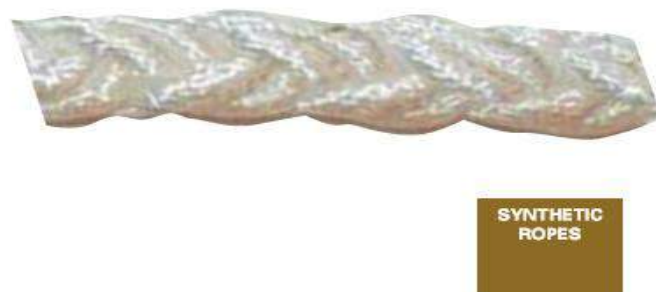
Tabel 3.1. Data Lingkungan Laut Timor (DNVGL OS-E301, 2015)

Data Laut Timor gelombang 100 tahunan	
Kondisi Normal	Hs = 4,8 m
	Tp = 11,5 s
Data Kecepatan Arus Laut Timor	
Kondisi Normal	1,1 m/s

### 3.3.2 Data Spesifikasi Mooring Line

Jenis tali mooring yang digunakan adalah *syntetic ropes*, nylon SN81-120220-DY (Mordec), seperti pada Gambar 3.3 dengan spesifikasi :

Mass/Unit Length	: 8,87 kg/m
Equivalent Cross Section	: 0,001338 m <sup>2</sup>
Stiffness, EA	: 22602240 N
Maximum Tension	: 2501500 N
Equivalent Diameter	: 120 mm



Gambar 3.3 Nylon Fiber Rope (Mordec)



### 3.3.3 Data Kriteria Ukuran Pipa

Data kriteria ukuran pipa HDPE yang digunakan untuk menentukan ukuran pipa dan ukuran struktur yang sesuai adalah pada Tabel 3.2 berikut :

Tabel 3.2. Katalog Pipa HDPE PE 80 (Cardia, Lovatelli, 2015)

HDPE PE 80 pipes												
Pipe size Ø (mm)	PN 6.3 SDR 21			PN 10 SDR 13.6			PN 12.5 SDR 11			PN 16 SDR 9		
	T (mm)	W (kg × m)	B (kg × m)	T (mm)	W (kg × m)	B (kg × m)	T (mm)	W (kg × m)	B (kg × m)	T (mm)	W (kg × m)	B (kg × m)
110	-	-	-	8.1	2.6	6.9	10	3.2	6.3	12.3	3.8	5.7
125	-	-	-	9.2	3.4	8.9	11.4	4.1	8.2	14	4.9	7.4
140	-	-	-	10.3	4.2	11.2	12.7	5.1	10.3	15.7	6.1	9.2
160	7.7	3.7	16.4	11.8	5.5	14.6	14.6	6.7	13.4	17.9	8	12.1
180	8.6	4.7	20.7	13.3	7	18.4	16.4	8.5	17	20.1	10.1	15.3
200	9.6	5.8	25.6	14.7	8.6	22.8	18.2	10.4	21	22.4	12.5	18.9
225	10.8	7.3	32.4	16.6	10.9	28.8	20.5	13.2	26.6	25.2	15.9	23.8
250	11.9	9	40.1	18.4	13.5	35.6	22.7	16.3	32.8	27.9	19.5	29.6
280	13.4	11.3	50.2	20.6	16.9	44.6	25.4	20.4	41.2	31.3	24.4	37.1
315	15	14.3	63.6	23.2	21.3	56.6	28.6	25.7	52.2	35.2	30.9	47
355	16.9	18.1	80.8	26.1	27	71.9	32.2	32.6	66.3	39.7	39.3	59.6
400	19.1	23	102.6	29.4	34.2	91.4	36.2	41.5	84.1	44.7	49.8	75.8
450	21.5	29	130	33.1	43.4	115.6	40.9	52.5	106.4	50.3	63	96
500	23.9	35.9	160.4	36.8	53.5	142.8	45.4	64.8	131.5	-	-	-

Keterangan :

PN = Pressure – Resistance

SDR = Standard Dimension Ratio

T = Wall Thickness

W = Weight

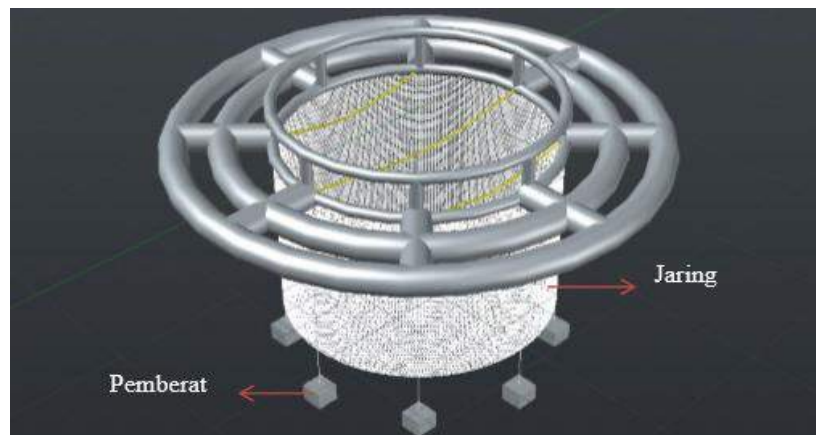
B = Buoyancy

Berdasarkan katalog tersebut, dapat didesain ukuran pipa HDPE yang sesuai. Diameter pipa akan menentukan buoyancy dari *collar*. Ketika merancang ukuran lingkaran struktur, harus disesuaikan dengan limit torsi dari pipa.

### 3.3.4 Data Ukuran dan Volume Struktur

Pada tahap modifikasi desain struktur *aquaculture* dan sistem pendukung, parameter yang direncanakan antara lain: bentuk dan ukuran struktur *aquaculture*

serta desain pendukung yang diperlukan. Sketsa dari struktur model *collar cage* sebelum dimodifikasi dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.4 Model struktur *collar cage* sebelum dimodifikasi (Aziz, 2015)

Volume struktur *aquaculture* dari penelitian sebelumnya oleh Angga Baskara (2017) dan Hafidz Bagus (2017) memiliki besar volume kurang lebih sebesar 1000 m<sup>3</sup>. Pada analisis tugas akhir ini, ukuran struktur dirancang berdasarkan volume, yang ukurannya menyesuaikan penelitian sebelumnya. Ukuran dan volume struktur *collar cage* yang telah dimodifikasi dapat dilihat pada bab selanjutnya. Sketsa gambar dari *collar cage* yang telah dimodifikasi menyesuaikan kondisi laut lepas, juga dapat dilihat di bab selanjutnya. Desain dari *Collar Cage* yang dibuat oleh penulis, menggunakan software Autodesk Inventor 2015.

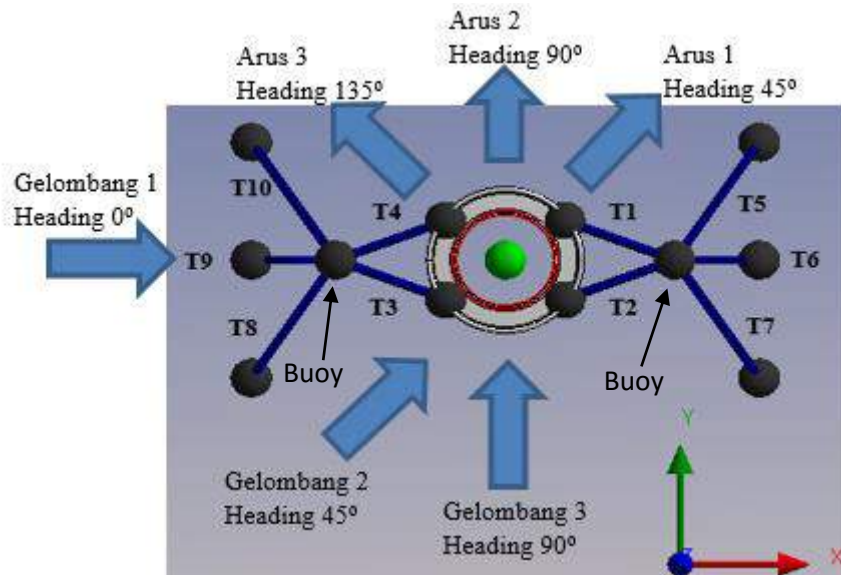
**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## BAB IV

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

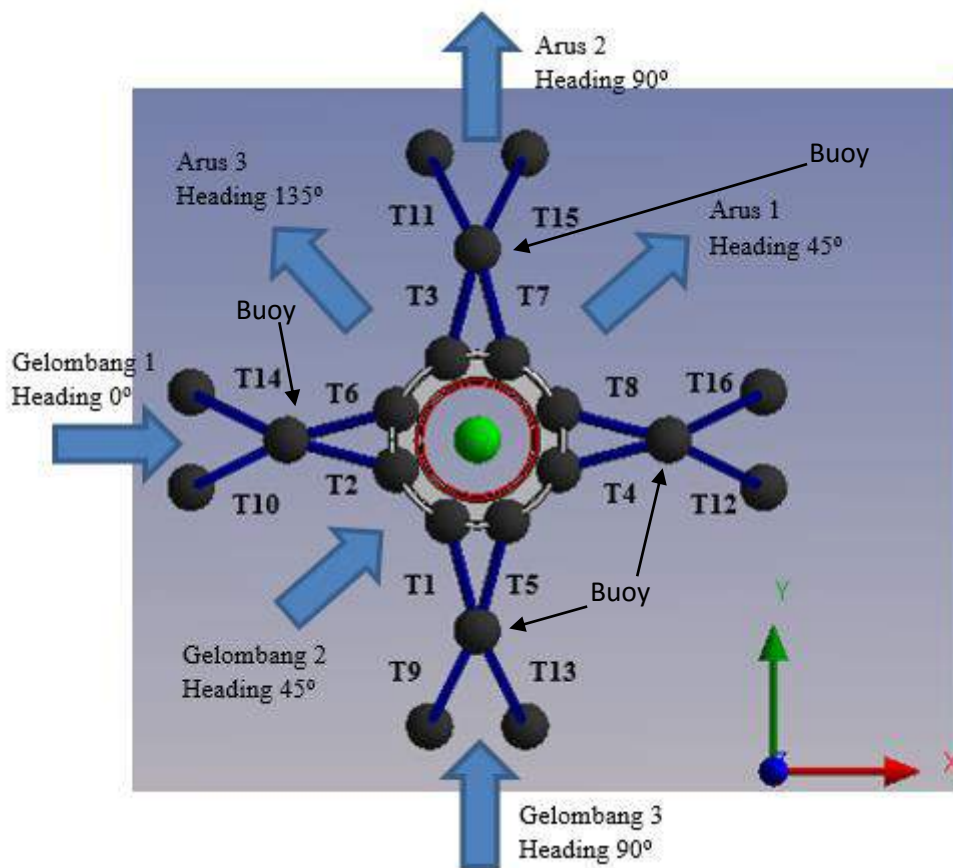
#### 4.1 Variasi 3 Konfigurasi Sistem Mooring

Pada analisa Tugas Akhir ini, dilakukan variasi sistem *mooring* yang umum digunakan oleh struktur *aquaculture*. Sistem *mooring* yang digunakan oleh struktur *aquaculture* biasa disebut dengan *grid system*. Variasi yang akan dilakukan adalah konfigurasi *Linear Array*, konfigurasi *Rectangular Array* (WAS Aquaculture, 2009), dan konfigurasi 8 Titik Tambat Tanpa Buoy. Model variasi dapat dilihat pada Gambar 4.1, Gambar 4.2, dan Gambar 4.3 berikut.



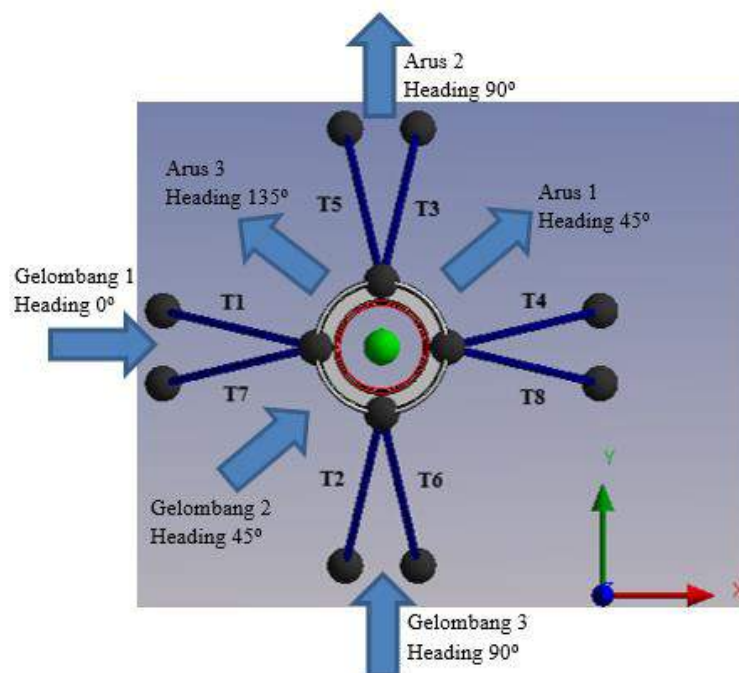
Gambar 4.1 Model konfigurasi *linear array* tampak atas

Model pada Gambar 4.1 terdapat 2 *buoy*, 4 tali mooring pendek berukuran 12,2 m yang menghubungkan struktur ke *buoy* yaitu T1, T2, T3, T4, dan 3 tali *mooring* panjang berukuran 54 m yang menghubungkan *buoy* ke jangkar yaitu T5, T6, T7, T8, T9, T10.



Gambar 4.2 Model konfigurasi *rectangular array*

Model pada Gambar 4.2 terdapat 4 *buoy*, 8 tali mooring pendek berukuran 11,95 m yang menghubungkan struktur ke *buoy* yaitu T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 dan 8 tali *mooring* panjang berukuran 52 m yang menghubungkan *buoy* ke jangkar yaitu T9, T10, T11, T12, T13, T14, T15, dan T16.



Gambar 4.3 Model konfigurasi 8 Titik Tambat Tanpa Buoy

Model pada Gambar 4.3 tidak terdapat *buoy* dan memiliki 8 tali mooring yang menghubungkan dari struktur langsung ke jangkar berukuran 55 m yang yaitu T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, dan T8.

Pada analisis ini, sebelum memodelkan sistem mooring seperti pada gambar diatas, terlebih dahulu merancang konfigurasi struktur, sistem pendukung struktur, perhitungan beban yang bekerja, serta pemodelan struktur.

## 4.2 Konfigurasi Struktur dan Sistem Pendukung

Dalam perencanaan konsep desain struktur, penulis menggunakan data yang ada pada buku *Aquaculture Operation in Floating HDPE Cages, Food and Agriculture Organization of the United Nations*, oleh Francesco Cardia dan Alessandro Lovatelli (2015). Dalam buku tersebut, terdapat tabel katalog pipa HDPE PE 80 dan HDPE PE 100 yang dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut, dimana hal tersebut berdasarkan ISO 4427 berkaitan dengan kekuatan minimum yang dibutuhkan pipa diukur setelah 50 tahun pada temperatur 20°C. Yang mana penulis memilih untuk menggunakan HDPE PE 80 karena lebih efisien dan ekonomis.

Tabel 4.1. Katalog Pipa HDPE PE 80 (Cardia dan Lovatelli, 2015)

HDPE PE 80 pipes												
Pipe size Ø (mm)	PN 6.3 SDR 21			PN 10 SDR 13.6			PN 12.5 SDR 11			PN 16 SDR 9		
	T (mm)	W (kg × m)	B (kg × m)	T (mm)	W (kg × m)	B (kg × m)	T (mm)	W (kg × m)	B (kg × m)	T (mm)	W (kg × m)	B (kg × m)
110	-	-	-	8.1	2.6	6.9	10	3.2	6.3	12.3	3.8	5.7
125	-	-	-	9.2	3.4	8.9	11.4	4.1	8.2	14	4.9	7.4
140	-	-	-	10.3	4.2	11.2	12.7	5.1	10.3	15.7	6.1	9.2
160	7.7	3.7	16.4	11.8	5.5	14.6	14.6	6.7	13.4	17.9	8	12.1
180	8.6	4.7	20.7	13.3	7	18.4	16.4	8.5	17	20.1	10.1	15.3
200	9.6	5.8	25.6	14.7	8.6	22.8	18.2	10.4	21	22.4	12.5	18.9
225	10.8	7.3	32.4	16.6	10.9	28.8	20.5	13.2	26.6	25.2	15.9	23.8
250	11.9	9	40.1	18.4	13.5	35.6	22.7	16.3	32.8	27.9	19.5	29.6
280	13.4	11.3	50.2	20.6	16.9	44.6	25.4	20.4	41.2	31.3	24.4	37.1
315	15	14.3	63.6	23.2	21.3	56.6	28.6	25.7	52.2	35.2	30.9	47
355	16.9	18.1	80.8	26.1	27	71.9	32.2	32.6	66.3	39.7	39.3	59.6
400	19.1	23	102.6	29.4	34.2	91.4	36.2	41.5	84.1	44.7	49.8	75.8
450	21.5	29	130	33.1	43.4	115.6	40.9	52.5	106.4	50.3	63	96
500	23.9	35.9	160.4	36.8	53.5	142.8	45.4	64.8	131.5	-	-	-

Keterangan :

PN = Pressure – Resistance

SDR = Standard Dimension Ratio

T = Wall Thickness

W = Weight

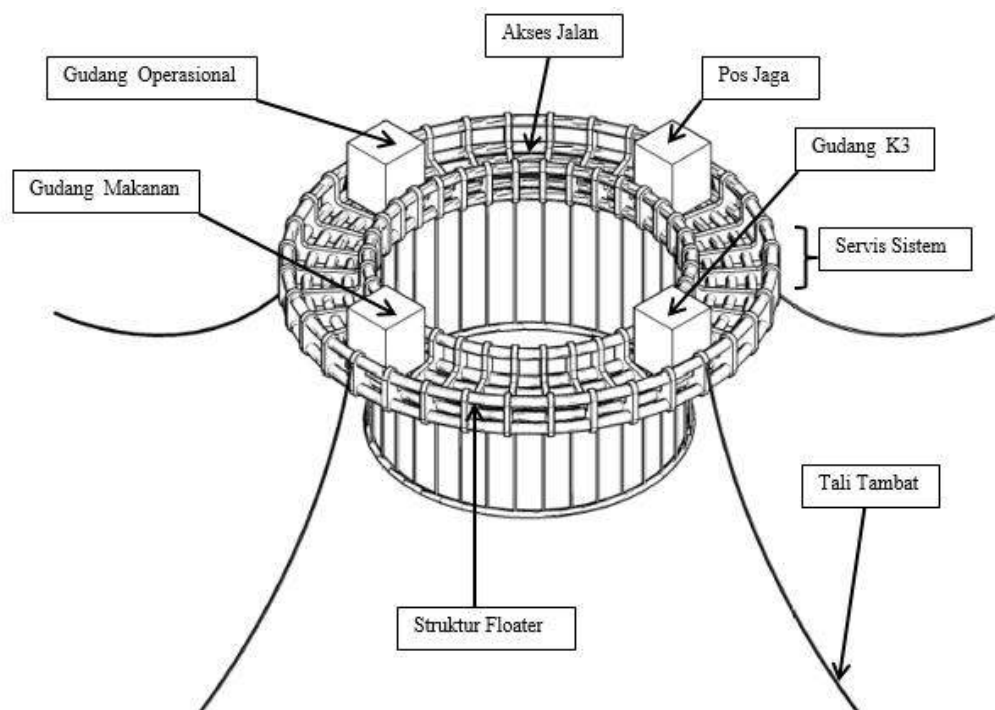
B = Buoyancy

Berdasarkan katalog tersebut, dapat didesain ukuran pipa HDPE sebagai struktur *floaters* yang sesuai. Diameter pipa akan menentukan *buoyancy* dari *collar*. Ketika merancang ukuran lingkaran struktur, harus disesuaikan dengan limit torsi dari pipa. Umumnya, radius minimum untuk struktur bisa menutup terbentuk bulat dan dilakukan pengelasan adalah 25 kali diameter luar pipa. Radius struktur rencana oleh penulis adalah 18 m untuk outer collar. Sehingga untuk ukuran diameter minimum pipa bisa diperhitungkan. Berikut Tabel 4.2, merupakan dimensi dari struktur *Collar Cage* modifikasi serta ukuran pipa yang sesuai.

Tabel 4.2. Ukuran Dimensi dari Struktur dan Pipa yang digunakan

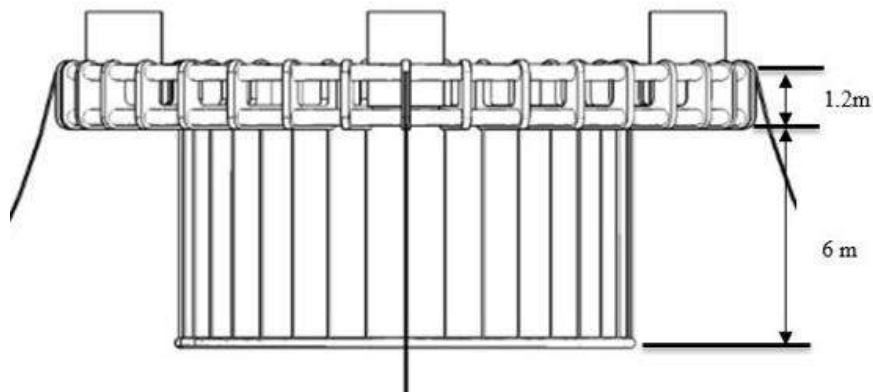
Komponen Struktur	Diameter (m)	Ukuran minimum pipa (mm)
Inner Collar	12	240
Outer Collar	18	360
Middle Collar A	13.5	270
Middle Collar B	15	300
Middle Collar C	16.5	330
Sinker	12	240

Konsep desain struktur ini sama seperti *collar cage aquaculture* pada umumnya namun telah dimodifikasi dengan menambahkan lapisan *collar* menjadi lima lapis yang diikat dengan serangkaian bracket dan diberikan bangunan atas untuk mengakomodasi kebutuhan operasional di laut lepas. Volume *aquaculture* yang didesain adalah 678,58 m<sup>3</sup> dengan konfigurasi dan dimensi seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.4, Gambar 4.5, dan Gambar 4.6 berikut :

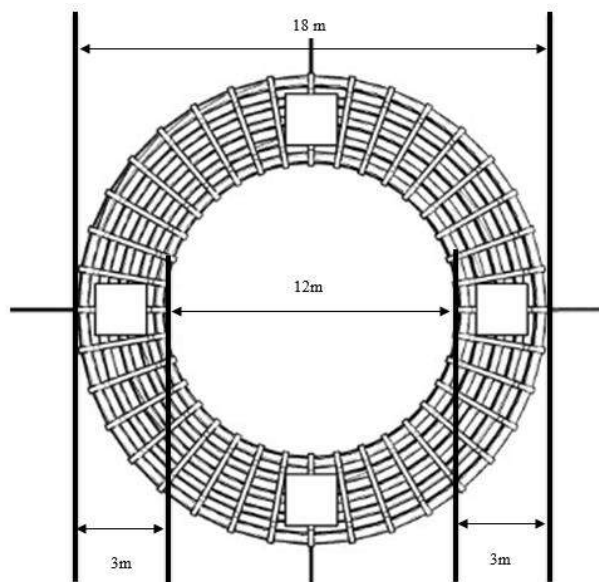


Gambar 4.4 General Arrangement Struktur Collar Cage Aquaculture





Gambar 4.5 Struktur *Collar Cage Aquaculture* Tampak Samping



Gambar 4.6 Struktur *Collar Cage Aquaculture* Tampak Atas

Dari gambar di atas dapat terlihat bahwa struktur memiliki beberapa bagian dan sistem pendukung berupa bangunan diatas deck untuk berbagai kebutuhan, seperti : gudang cadangan makanan, gudang cadangan jaring dan peralatan sejenisnya, gudang untuk penyimpanan peralatan K3, dan untuk tempat istirahat manusia. Struktur *collar cage aquaculture* memiliki kedalaman sebesar 6m, tinggi sebesar 1m, diameter dalam sebesar 12m, dan diameter luar sebesar 18m.

Konstruksi bangunan atas terbuat dari *HDPE Sheet*. *HDPE Sheet* yang dipilih adalah *Smooth Surface HDPE Sheet* buatan Shandong Ningjin Xinxing Chemical Co.,Ltd. dengan panjang 4500 mm, lebar 2000 mm, dan tebal 50 mm

yang merupakan ukuran standar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.7. *HDPE Sheet* ini nantinya akan dipotong dan dirangkai menjadi balok dengan dimensi yang tercantum pada Tabel 4.3.



Gambar 4.7 *Smooth Surface HDPE Sheet* (SDXXHG, 2017)

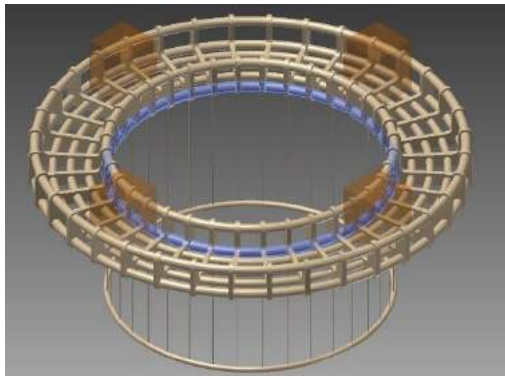
Tabel 4.3 Dimensi Bangunan Atas

<i>Dimension</i>	<i>length</i>	2,5 m
	<i>width</i>	1,75 m
	<i>height</i>	2,5 m
	<i>thickness</i>	0,05 m

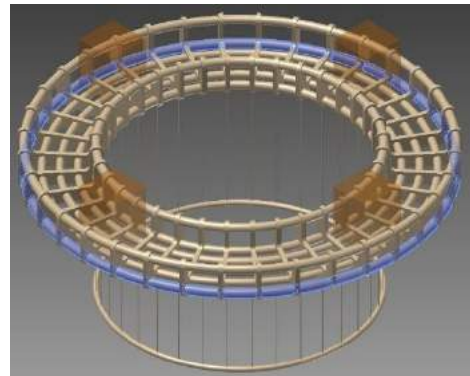
Struktur *collar cage aquaculture* didesain untuk dapat menopang beban lingkungan, beban hidup (*live load*) yang bekerja dan bangunan atas. Dalam desain ini *collar* terdiri dari 5 buah *collar* dengan dimensi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.4. Posisi masing-masing *collar* terhadap struktur secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 4.8, Gambar 4.9, Gambar 4.10, Gambar 4.11 dan Gambar 4.12.

Tabel 4.4 Dimensi *Collar*

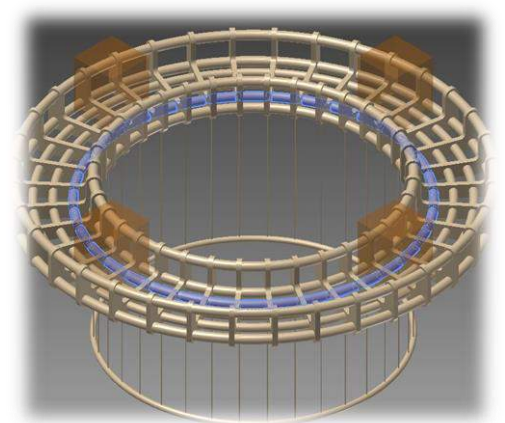
Nama	Diameter (m)	Keliling (m)	Spesifikasi	ODPipa (mm)	Wall Thickness (mm)
Inner Collar	12	37,7	HDPE PE 80 SDR 13.6	400	29.4
Outer Collar	18	56,55		400	29.4
Middle Collar A	13.5	42,41		355	26.1
Middle Collar B	15	47,12		355	26.1
Middle Collar C	16.5	51,84		355	26.1



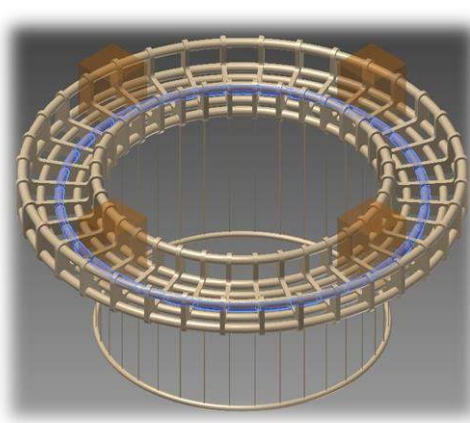
Gambar 4.8 Letak *Inner Collar*  
ditandai dengan warna biru



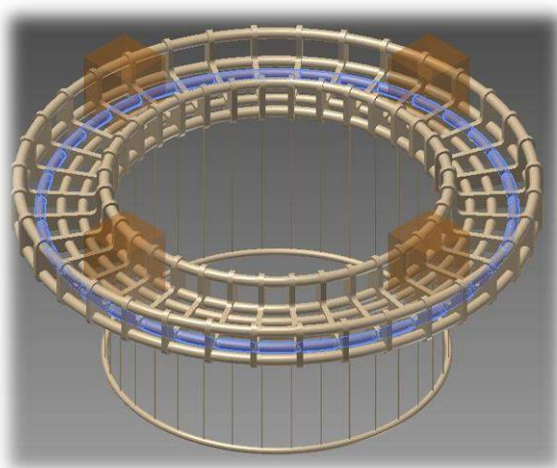
Gambar 4.9 Letak *Outer Collar*  
ditandai dengan warna biru



Gambar 4.10 Letak *Middle Collar*  
A ditandai dengan warna biru



Gambar 4.11 Letak *Middle Collar*  
B ditandai dengan warna biru

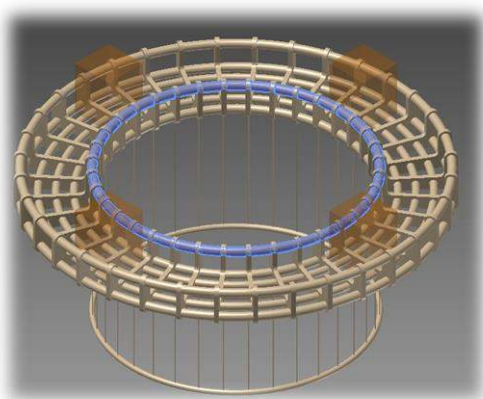


Gambar 4.12 Letak *Middle Collar C* ditandai dengan warna biru

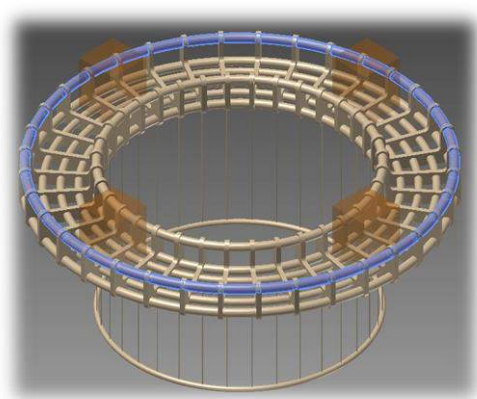
Komponen lain dari struktur *collar cage aquaculture* adalah *handrail*. Dalam desainnya, struktur ini dirancang untuk dapat melindungi aktivitas personel di laut lepas dengan mempertimbangkan unsur kesehatan dan keselamatan kerja (K3). Oleh sebab itu struktur ini dilengkapi dengan *handrail* di kedua sisi (*outer* dan *inner*) sebagai pengaman utama. Dimensi *handrail* dapat dilihat pada Tabel 4.5, sedangkan posisi *handrail* terhadap struktur secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 4.13 dan Gambar 4.14.

Tabel 4.5 Dimensi *Handrail*

Nama	Diameter (m)	Keliling (m)	Spesifikasi	OD Pipa (mm)	Wall Thickness (mm)
Inner Handrail	11,85	37,23	HDPE PE 80	250	18.4
Outer Handrail	18,15	57	SDR 13.6	250	18.4



Gambar 4.13 Letak *Inner Handrail* yang ditandai dengan warna biru

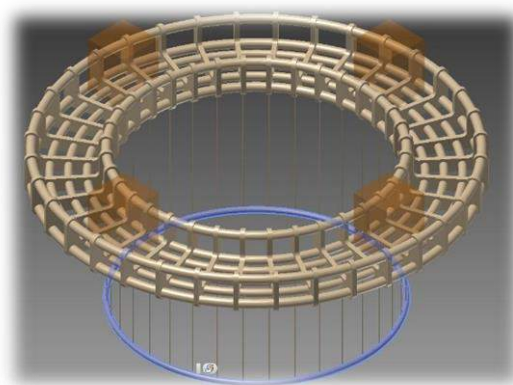


Gambar 4.14 Letak *Outer Handrail* yang ditandai dengan warna biru

Komponen lainnya lagi adalah *sinker*. *Sinker* berfungsi sebagai pemberat pada jaring sehingga bentuk *cage bag* dan volume struktur dapat dipertahankan. Dalam desain ini, *sinker* terdiri dari pipa dan di dalamnya diberi ballast sebagai pemberat. Spesifikasi *sinker* ditunjukkan pada Tabel 4.6. Posisi *sinker* dapat dilihat pada Gambar 4.15.

Tabel 4.6 Dimensi dan Spesifikasi *Sinker*

Pipa Sinker	Diameter (m)	12
	Spesifikasi	HDPE PE 80 SDR 13.6
	ODPipa (mm)	250
	Wall Thickness (mm)	18.4



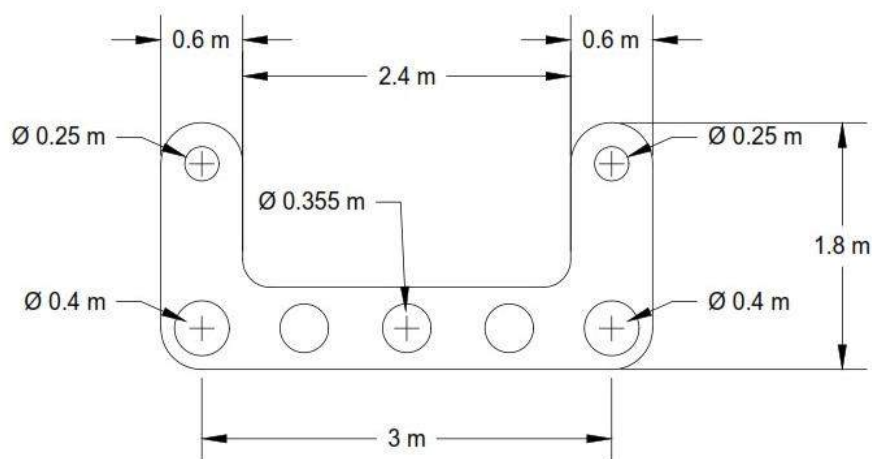
Gambar 4.15 Letak *Sinker* Struktur yang ditandai dengan warna biru

Perhitungan *ballast* pada sinker dapat dilihat pada table berikut ini.

Tabel 4.7 Perhitungan volume dan berat *ballast*

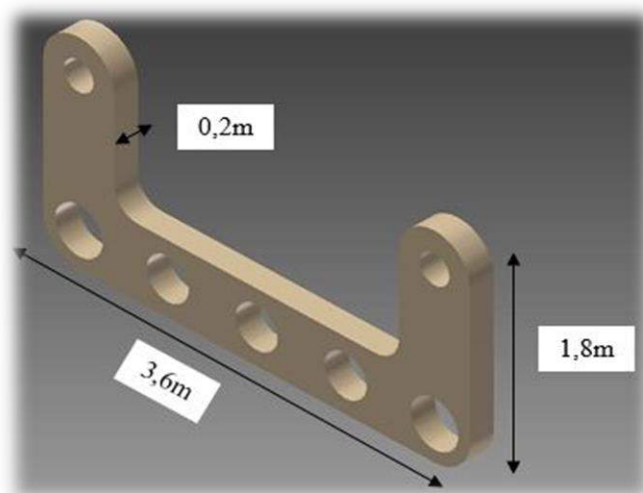
Jari-jari pipa	=	106.6	mm
	=	0.1066	m
Luas lingkaran dalam	=	$\pi \times r^2$	
	=	0.035699677	m <sup>2</sup>
Volume Ballast	=	1.346	m <sup>3</sup>
Berat Ballast	=	1.379492254	ton

Salah satu komponen penting dalam struktur ini adalah *bracket*. *Bracket* merupakan elemen struktur yang berfungsi sebagai pengikat dan penguat pipa-pipa *collar cage aquaculture*, serta sebagai pengikat *handrail* dan titik *attachment* untuk *sinker*. Bentuk, dimensi, dan letak bracket dapat dilihat pada Gambar 4.16, Gambar 4.17 dan Gambar 4.18. Pada bracket yang tampak seperti pada gambar, terdiri dari *main floating pipe seats* yaitu lubang lingkaran pada bagian datar bracket, dan *handrail pipe seat* yaitu lubang pada bagian vertikal bracket.

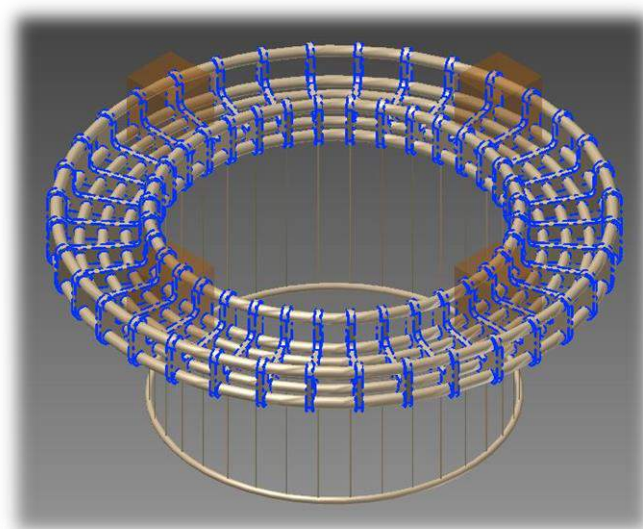


Gambar 4.16 Detail Penampang *Bracket*





Gambar 4.17 Detail *Bracket* Tampak Isometri



Gambar 4.18 Letak *Bracket* Struktur yang ditandai dengan warna biru

Berikut ini merupakan tabel spesifikasi dari *bracket*.

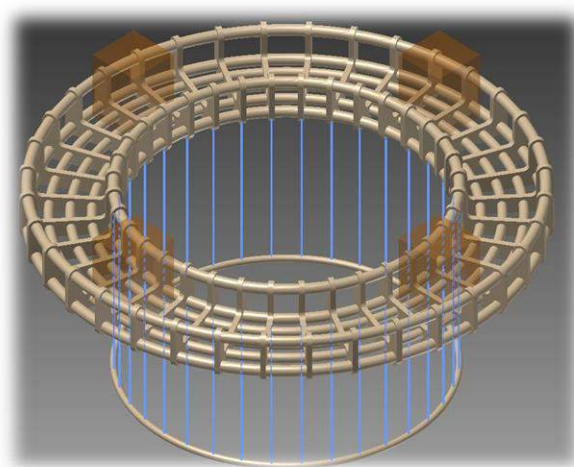
Tabel 4.8 Spesifikasi *bracket*

Luas Permukaan (m <sup>2</sup> )	Lebar Bracket (m)	Volume Bracket (m <sup>3</sup> )	Density HDPE (ton/m <sup>3</sup> )	Density Sea Water (ton/m <sup>3</sup> )
2.7017	0.2	0.54034	0.952	1.025

Komponen selanjutnya adalah tali *sinker*, yang merupakan penghubung antara *sinker* dan floater. Tali ini juga berfungsi sebagai penegar tambahan untuk menjaga bentuk jaring tetap baik. Tali *sinker* terbuat dari material *polypropylene*, dengan spesifikasi Tali yang dapat dilihat pada Tabel 4.9. Posisi tali terhadap struktur secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 4.19.

Tabel 4.9 Spesifikasi Tali Sinker

Panjang	=	6	m
Diameter	=	0.04	m
Density	=	0.933	ton/m <sup>3</sup>
Volume	=	$1/4 \times \pi \times D^2 \times L$	
	=	0.007539822	m <sup>3</sup>
Jumlah	=	36	
Total Volume	=	0.271433605	m <sup>3</sup>
Berat	=	0.253247554	ton
Bouyancy Tali Sinker	=	0.278219445	ton

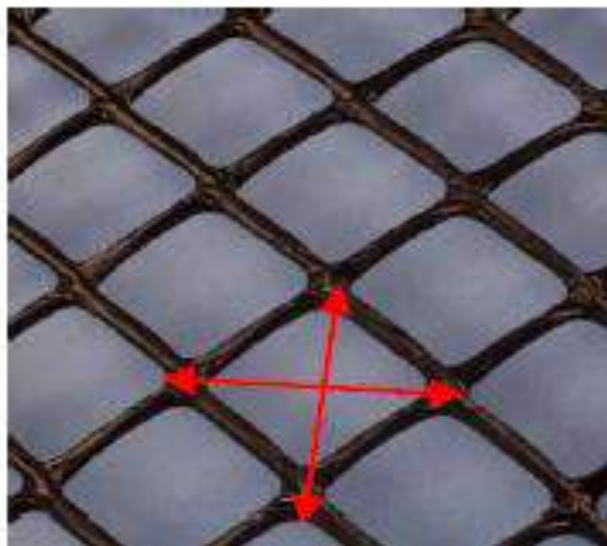


Gambar 4.19 Letak Tali *Sinker* Struktur yang ditandai dengan warna biru

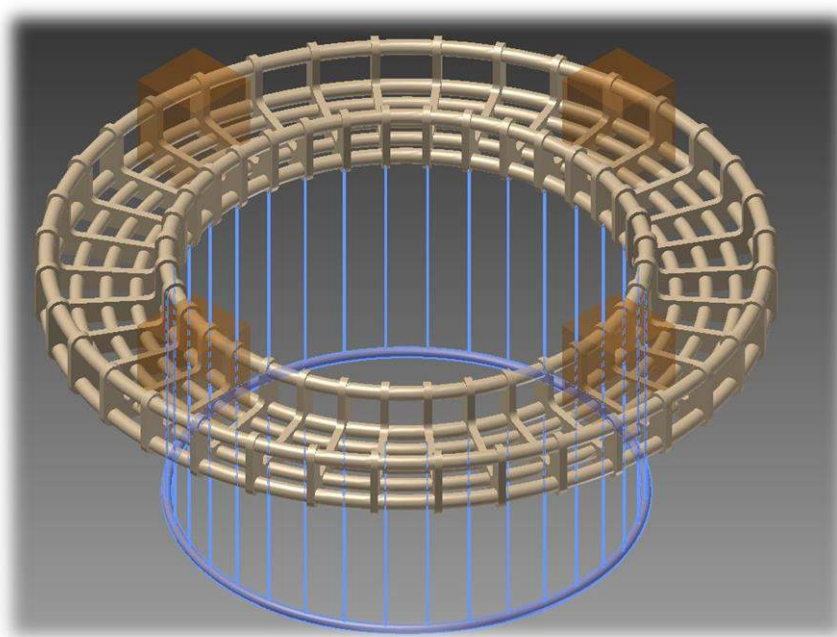
Jaring yang dipilih untuk struktur ditentukan dengan ukuran ikan pada saat dimasukkan. Jaring yang dipilih merupakan jaring dengan bahan *Black Polyethylene* dengan ukuran seperti pada Gambar 4.20 dan mengacu pada desain pasaran yang sudah tersedia. Ukuran jaring yang dipilih disesuaikan dengan ukuran



ikan yang akan dibudidayakan. Jaring yang dipilih memiliki ukuran 1.25 x 1.25 in dengan PMSF 120 lbs/1000 sq ft. Letak jaring pada dapat dilihat pada Gambar 4.21



.Gambar 4.20 Bentuk dan ukuran jaring



Gambar 4.21 Area struktur yang diselimuti jaring

### 4.3 Perhitungan Berat dan Buoyancy

Perhitungan berat dan *buoyancy* dilakukan untuk mengetahui berat yang bekerja pada struktur dan apakah struktur *collar cage aquaculture* berada pada kondisi terapung atau tidak. Struktur dikatakan terapung apabila memiliki *buoyancy* yang lebih besar daripada beratnya. Pada desain ini, semua komponen struktur memberikan kontribusi terhadap berat struktur sedangkan hanya struktur yang tercelup yang memberikan kontribusi terhadap *buoyancy*.

Berikut ini merupakan perhitungan berat dan *buoyancy*. Perhitungan berat struktur dapat dilihat pada Tabel 4.10 dan Tabel 4.11, sedangkan perhitungan *buoyancy* dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.10 Perhitungan Berat Bangunan Atas

Komponen	Berat Satuan	Jumlah	Berat total
Konstruksi	1,43 ton	4	5,7 ton
Live Load (Personel)	0,1 ton	5	0,5 ton
Peralatan operasional	0,2 ton	1	0,2 ton
Peralatan K3	0,2 ton	1	0,2 ton
Makanan	0,2 ton	1	0,2 ton
Beban <i>marine growth</i>	0,3 ton	1	0,3 ton
SubTotal - 1			7,1 ton

Tabel 4.11 Perhitungan Berat *Floater*

Komponen	Berat (kg)	Berat (ton)
Inner Collar	1289,31	1,29
Outer Collar	1933,96	1,93
Middle Collar A	1145,11	1,15
Middle Collar B	1272,35	1,27
Middle Collar C	1399,58	1,40
Pipa Sinker	508,94	0,51
Pemberat pada Sinker	1379,5	1,38
Inner Handrail	502,58	0,5
Outer Handrail	769,77	0,77
Bracket	18518,53	18,52
Tali Sinker	253,25	0,25
Jaring	199,79	0,20
Sub Total -2		29,2

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Total Struktur} &= \text{Sub Total 1} + \text{Sub Total 2} \\
 &= 7,1 \text{ ton} + 29,2 \\
 &= 36,3 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.12 Perhitungan *Buoyancy*

Komponen	Buoyancy (kg)	Buoyancy (ton)
Inner Collar	3445,70	3,45
Outer Collar	5168,55	5,17
Middle Collar A	3049,38	3,05
Middle Collar B	3388,21	3,39
Middle Collar C	3727,03	3,73
Pipa Sinker	1342,09	1,34
Bracket	19938,55	19,94
Tali	278,22	0,28
Jaring	214,03	0,21
Total Buoyancy		40,56

Dari perhitungan di atas adalah kondisi struktur tanpa *mooring*. Karena struktur memiliki variasi *mooring*, maka *mooring line* yang berkoneksi langsung dengan struktur akan menambah berat struktur. Berikut pada Tabel 4.13 adalah perhitungan berat total dari tali *mooring* yang hanya terkait langsung dengan struktur, tidak termasuk tali yang terpisah oleh buoy. Perhitungan berat total struktur dan *floating condition* pada masing-masing konfigurasi dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.13 Perhitungan Berat Total Tali untuk masing-masing Konfigurasi

Perhitungan Berat Mooring	Panjang Total (m)	Berat/Satuan Panjang Tali (kg/m)	Berat Total Tali (kg)
Konfigurasi <i>Linear Array</i>	48,8	8,87	432,856
Konfigurasi <i>Rectangular Array</i>	95,6		847,972
Konfigurasi 8 Titik Tambat Tanpa Buoy	440		3902,8

Tabel 4.14 Perhitungan Berat Total Struktur dan *Floating Condition* untuk masing-masing Konfigurasi

Konfigurasi	Berat Total Struktur (ton)	Total <i>Bouyancy</i> (ton)	<i>Floating Condition</i> (ton)
<i>Linear Array</i>	36,7	40,56	3,86
<i>Rectangular Array</i>	37,15		3,41
8 Titik Tambat Tanpa <i>Buoy</i>	40,2		0,36

Dari Tabel 4.14 dapat diketahui bahwa struktur memiliki nilai *floating condition* positif yang berarti total *buoyancy* lebih besar dari berat struktur sehingga dapat disimpulkan bahwa struktur memenuhi syarat untuk beroperasi.

Selain perhitungan struktur secara global, dilakukan pula perhitungan *floating condition* pada komponen jaring. Hal ini dilakukan untuk memastikan apakah jaring bisa dipertahankan bentuknya selama masa operasi sehingga volume *aquaculture* tidak berkurang. Komponen yang terlibat dalam perhitungan berat dan *buoyancy* jaring adalah *sinker*, tali jaring, dan juga jaring itu sendiri. Perhitungan berat dan *buoyancy* jaring dapat dilihat pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Perhitungan Berat dan *Buoyancy* Jaring

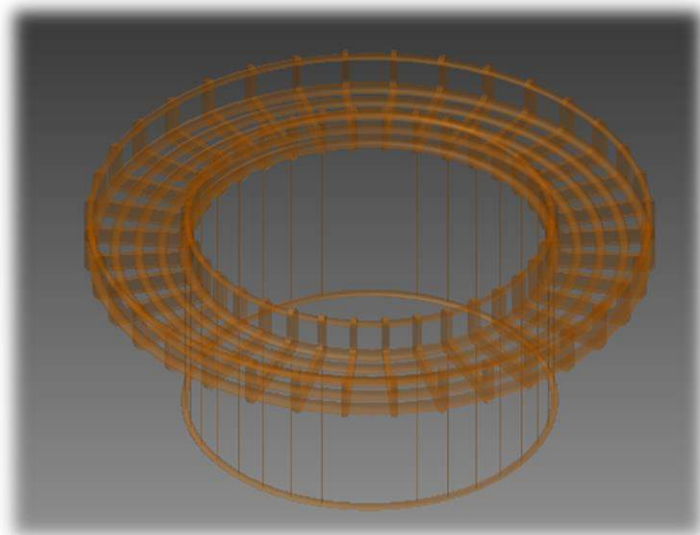
Komponen	Berat (ton)	<i>Buoyancy</i> (ton)	<i>Floating Condition</i> (ton)
Pipa <i>Sinker</i>	0,51	1,34	0,83
Pemberat <i>Sinker</i>	1,38	0	-1,38
Tali Jaring	0,25	0,28	0,03
Jaring	0,20	0,21	0,01
Total			-0,51

Dari perhitungan di atas dapat diketahui bahwa jaring memiliki *floating condition* yang bernilai negatif karena beratnya lebih besar daripada *buoyancynya* sehingga dapat disimpulkan bentuk jaring dapat dipertahankan dan memenuhi syarat untuk beroperasi.

#### 4.4 Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur *collar cage aquaculture* dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor 2015. Struktur dimodelkan dalam format gambar CAD (*Computer Aided Design*) 3 Dimensi berdasarkan desain yang telah dilakukan sebelumnya. Dalam tugas akhir ini hanya terdapat satu jenis model yang dibuat yaitu model *surface*, dapat dilihat pada Gambar 4.22.

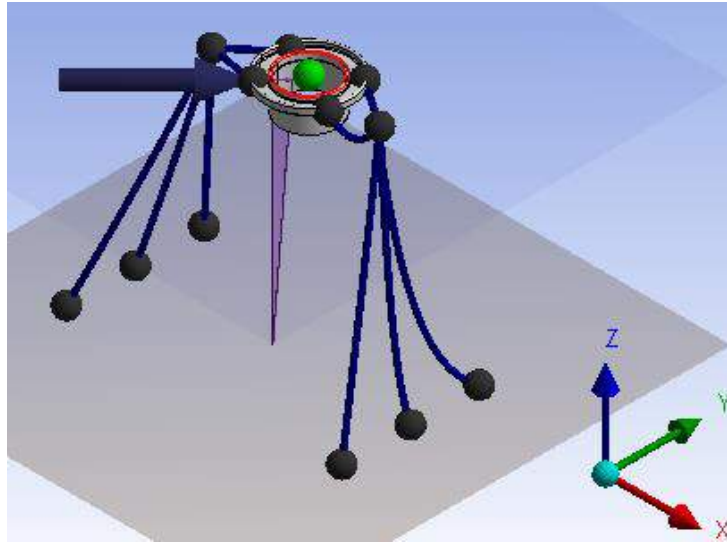
Model *surface* merupakan model struktur yang hanya memodelkan permukaannya saja. Model *surface* ini nantinya akan dipakai dalam analisa RAO, respons, *mooring tension*, serta *offset* yang dialami *collar cage aquaculture* tertambat dengan bantuan perangkat lunak ANSYS AQWA.



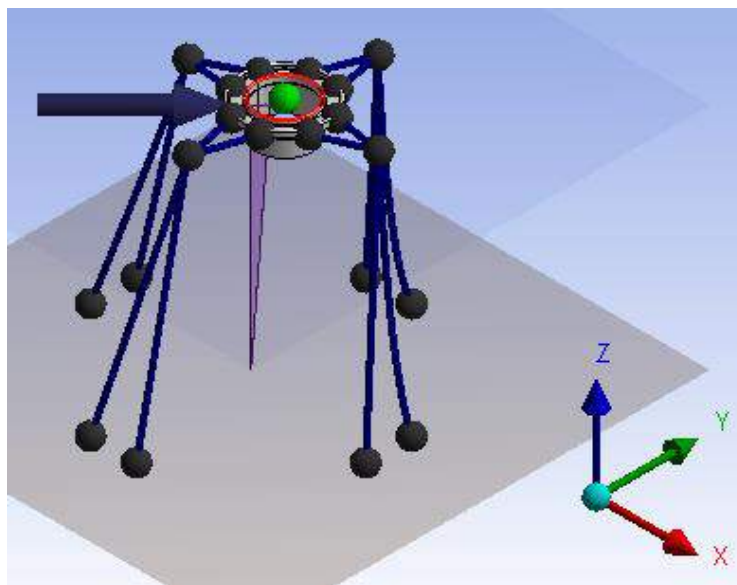
Gambar 4.22 Model *surface* pada Autodesk Inventor

#### 4.5 Pemodelan 3 Konfigurasi Mooring

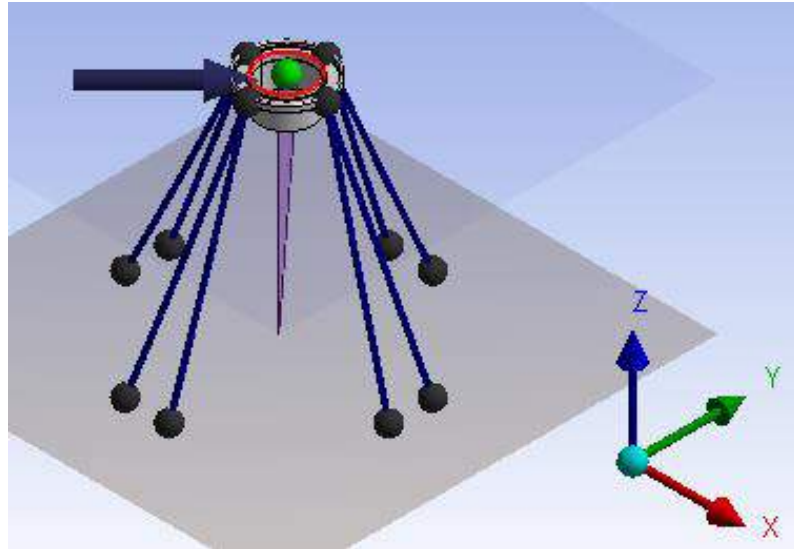
Setelah mendapatkan model dari Autodesk Inventor, pemodelan dilanjutkan ke ANSYS AQWA untuk analisa lebih lanjut. Untuk analisa nantinya, model struktur disederhanakan untuk memudahkan proses analisa. Dalam pemodelan ANSYS AQWA, struktur dimodelkan beserta sistem *mooring* yang bervariasi. Hasil dari pemodelan dapat dilihat pada Gambar 4.23, Gambar 4.24, dan Gambar 4.25 berikut.



Gambar 4.23 Model sistem *mooring* konfigurasi *linear array*



Gambar 4.24 Model sistem *mooring* konfigurasi *rectangular array*



Gambar 4.25 Model sistem *mooring* konfigurasi 8 titik tambat tanpa *buoy*

#### 4.6 Response Amplitude Operator (RAO)

Karakteristik gerakan struktur *collar cage aquaculture* dapat diketahui dengan menganalisa RAO struktur tersebut dalam setiap arah pembebanan. Respon gerakan yang terjadi untuk masing-masing arah pembebanan (*heading*) dibagi menjadi 2 yaitu, RAO gerakan translasional dan RAO gerakan rotasional. RAO gerakan translasional meliputi gerakan *surge*, *sway*, dan *heave*, dengan satuan (m/m). Sedangkan untuk RAO gerakan rotasional meliputi gerakan *roll*, *pitch*, dan *yaw*, dengan satuan (deg/m).

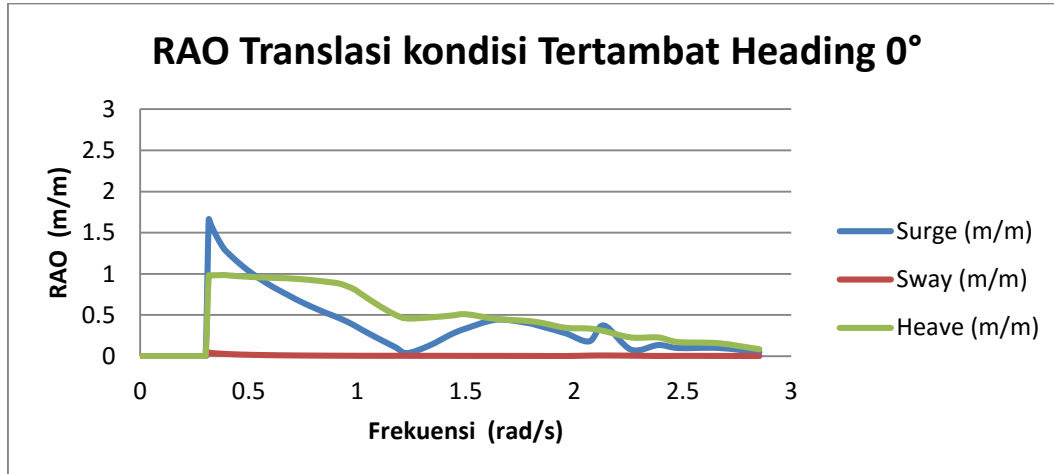
Dalam tugas akhir ini, RAO akan dianalisa dalam 3 arah pembebanan yaitu 0, 45, dan 90 derajat karena struktur *collar cage aquaculture* memiliki bentuk yang simetris. Analisa RAO dilakukan pada model *surface* yang telah dibuat sebelumnya. Analisa RAO dengan menggunakan perangkat lunak ANSYS AQWA menghasilkan dua kondisi RAO, yaitu RAO *free floating* dan RAO tertambat.

Untuk kasus analisa ini, RAO yang digunakan adalah RAO tertambat dengan menganalisa seluruh variasi konfigurasi yang ada. Sehingga ada 18 RAO yaitu RAO dari ketiga konfigurasi pada setiap arah 0°, 45°, dan 90° dan dari kedua gerakan yaitu translasi dan rotasi. Berikut adalah hasil-hasilnya :



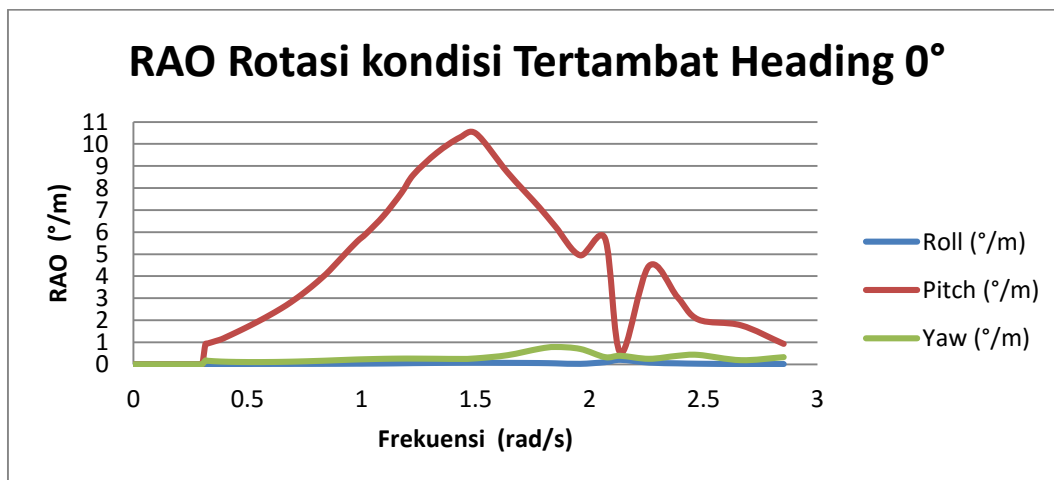
#### 4.6.1 RAO konfigurasi *Linear Array*

Grafik RAO *collar cage aquaculture* konfigurasi *linear array* untuk gerakan translasi dan rotasi dengan *heading angle*  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ , dan  $90^\circ$  berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 4.26-4.31.



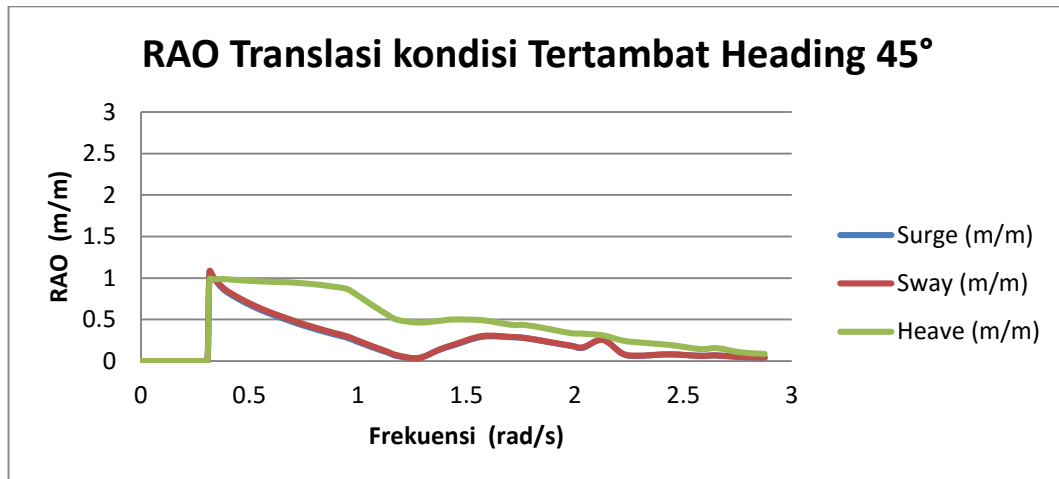
Gambar 4.26 Grafik RAO *Linear Array* Translasi Kondisi Tertambat pada *Heading*  $0^\circ$

Berdasarkan Gambar 4.26, dalam kondisi tertambat konfigurasi *linear array* pada *Heading*  $0^\circ$  struktur memiliki amplitudo RAO tertinggi *surge* sebesar 1,06 m/m pada frekuensi 0,3 rad/s, amplitudo RAO *heave* sebesar 0,99 m/m pada frekuensi 0,4 rad/s, dan amplitudo RAO *sway* mendekati 0 di setiap frekuensi.



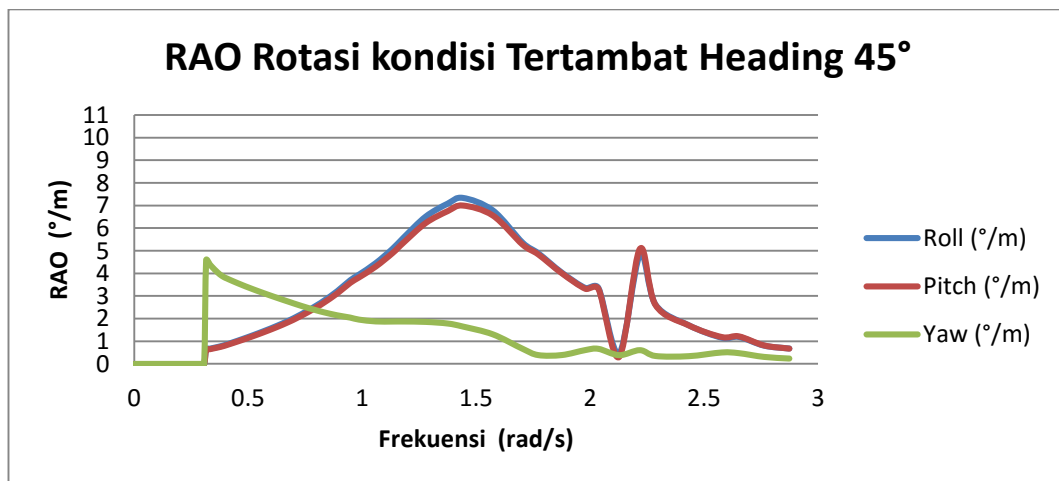
Gambar 4.27 Grafik RAO *Linear Array* Rotasi Kondisi Tertambat pada *Heading*  $0^\circ$

Berdasarkan Gambar 4.27, dalam kondisi tertambat konfigurasi *linear array* pada *Heading*  $0^\circ$  struktur memiliki amplitudo RAO tertinggi *roll* mendekati 0 di setiap frekuensi, amplitudo RAO *pitch* sebesar  $10,48^\circ/\text{m}$  pada frekuensi  $1,5 \text{ rad/s}$ , dan amplitudo RAO *yaw* sebesar  $0,79^\circ/\text{m}$  pada frekuensi  $1,85 \text{ rad/s}$ .



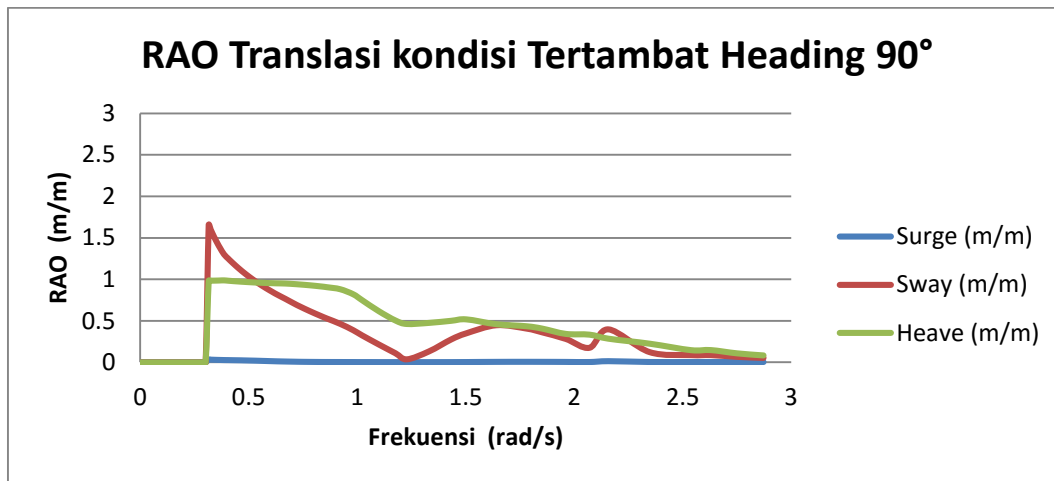
Gambar 4.28 Grafik RAO *Linear Array* Translasi Kondisi Tertambat pada *Heading*  $45^\circ$

Berdasarkan Gambar 4.28, dalam kondisi tertambat konfigurasi *linear array* pada *Heading*  $45^\circ$  struktur memiliki amplitudo RAO tertinggi *surge* dan *sway* yang hampir sama, sebesar  $0,98 \text{ m/m}$  pada frekuensi  $0,35 \text{ rad/s}$ , amplitudo RAO *heave* sebesar  $0,97 \text{ m/m}$  pada frekuensi  $0,35 \text{ rad/s}$ .



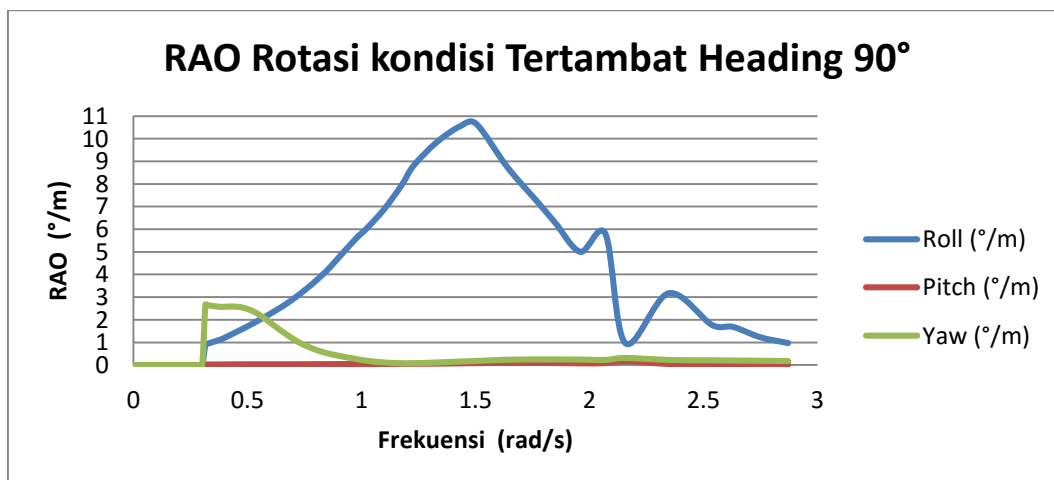
Gambar 4.29 Grafik RAO *Linear Array* Rotasi Kondisi Tertambat pada *Heading*  $45^\circ$

Berdasarkan Gambar 4.29, dalam kondisi tertambat konfigurasi *linear array* pada *Heading* 45° struktur memiliki amplitudo RAO tertinggi *roll* sebesar 7,33 °/m pada frekuensi 1,44 rad/s, amplitudo RAO *pitch* sebesar 7 °/m pada frekuensi 1,44 rad/s, dan amplitudo RAO *yaw* sebesar 4,4 °/m pada frekuensi 0,33 rad/s.



Gambar 4.30 Grafik RAO *Linear Array* Translasi Kondisi Tertambat pada *Heading* 90°

Berdasarkan Gambar 4.30, dalam kondisi tertambat konfigurasi *linear array* pada *Heading* 0° struktur memiliki amplitudo RAO tertinggi, *surge* mendekati nol disetiap frekuensi, amplitudo RAO *sway* sebesar 1,6 m/m pada frekuensi 0,3 rad/s, dan amplitudo RAO *heave* sebesar 0,98 m/m pada frekuensi 0,3 rad/s.

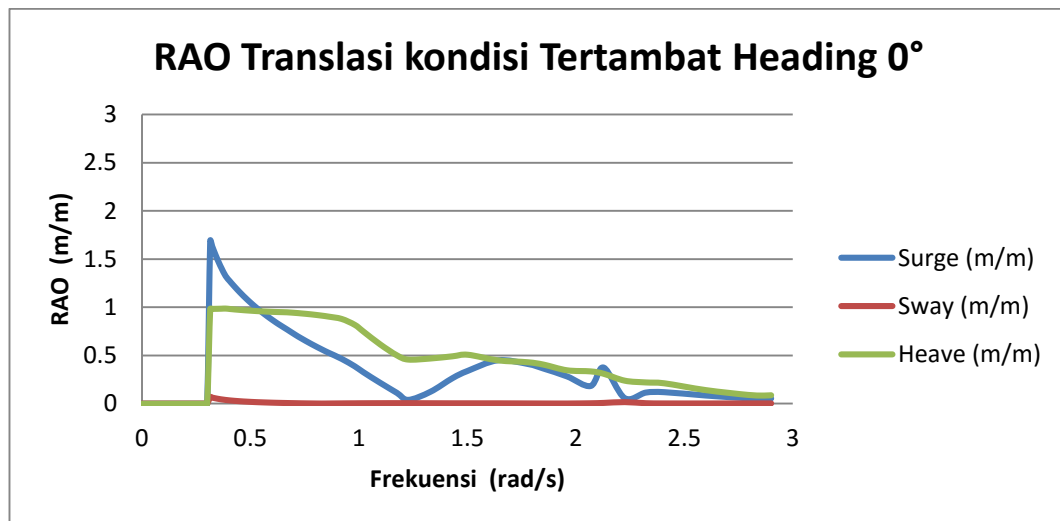


Gambar 4.31 Grafik RAO *Linear Array* Rotasi Kondisi Tertambat pada *Heading* 90°

Berdasarkan Gambar 4.31, dalam kondisi tertambat konfigurasi *linear array* pada *Heading*  $0^\circ$  struktur memiliki amplitudo RAO tertinggi *roll* sebesar  $10,67^\circ/\text{m}$  pada frekuensi  $1,5 \text{ rad/s}$ , amplitudo RAO *pitch* mendekati nol disetiap frekuensi, dan amplitudo RAO *yaw* sebesar  $2,6^\circ/\text{m}$  pada frekuensi  $0,34 \text{ rad/s}$ .

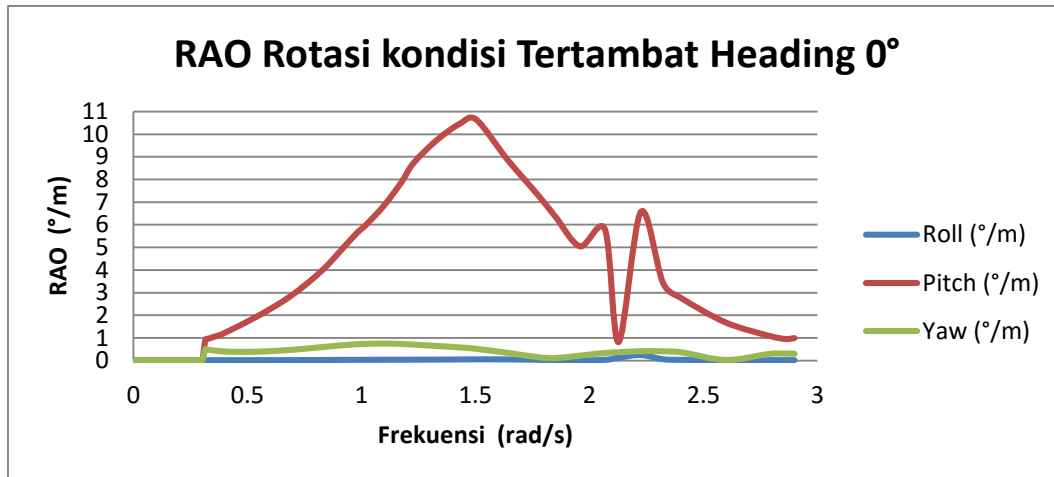
#### 4.6.2 RAO konfigurasi *Rectangular Array*

Grafik RAO *collar cage aquaculture* konfigurasi *rectangular array* untuk gerakan translasi dan rotasi dengan *heading angle*  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ , dan  $90^\circ$  berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 4.32-4.37.



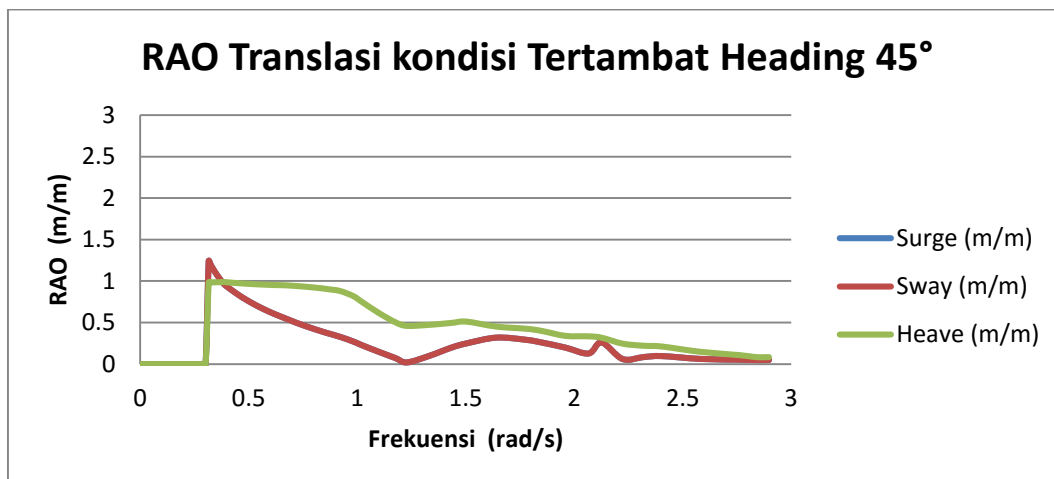
Gambar 4.32 Grafik RAO *Rectangular Array* Translasi Kondisi Tertambat pada *Heading*  $0^\circ$

Berdasarkan Gambar 4.32, dalam kondisi tertambat konfigurasi *rectangular array* pada *Heading*  $0^\circ$  struktur memiliki amplitudo RAO tertinggi *surge* sebesar  $1,64 \text{ m/m}$  pada frekuensi  $0,3 \text{ rad/s}$ , amplitudo RAO *heave* sebesar  $0,98 \text{ m/m}$  pada frekuensi  $0,3 \text{ rad/s}$ , dan amplitudo RAO *sway* mendekati 0 di setiap frekuensi.



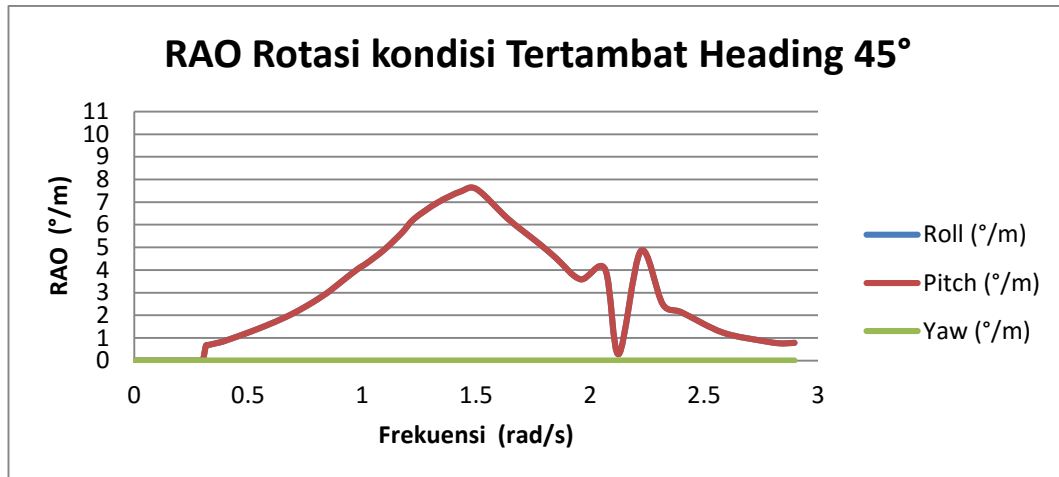
Gambar 4.33 Grafik RAO *Rectangular Array* Rotasi Kondisi Tertambat pada Heading 0°

Berdasarkan Gambar 4.33, dalam kondisi tertambat konfigurasi *rectangular array* pada Heading 0° struktur memiliki amplitudo RAO tertinggi *roll* sebesar 0,4°/m pada frekuensi 2,2 rad/s, amplitudo RAO *pitch* sebesar 10,66 °/m pada frekuensi 1,55 rad/s, dan amplitudo RAO *yaw* sebesar 0.75 °/m pada frekuensi 1,09 rad/s.



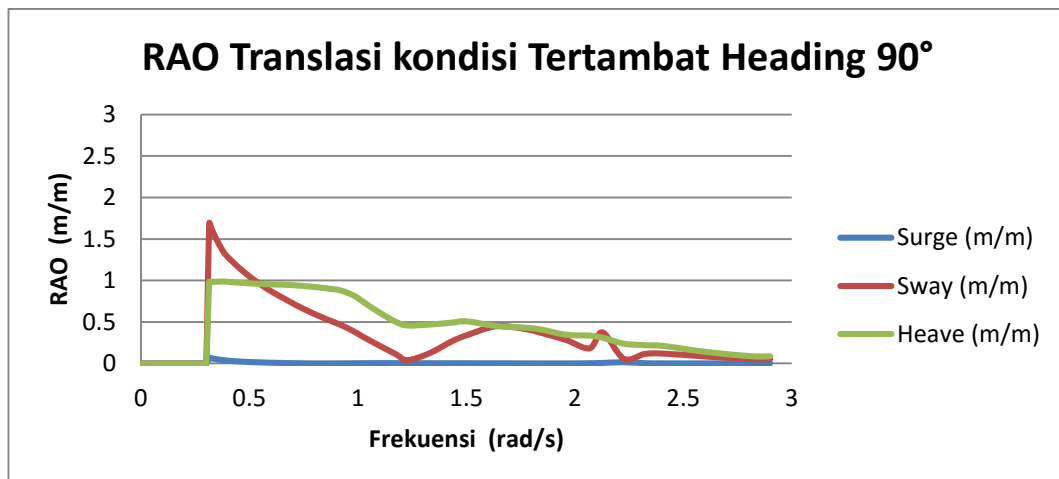
Gambar 4.34 Grafik RAO *Rectangular Array* Translasi Kondisi Tertambat pada Heading 45°

Berdasarkan Gambar 4.34, dalam kondisi tertambat konfigurasi *rectangular array* pada Heading 45° struktur memiliki amplitudo RAO tertinggi *surge* dan *sway* yang hampir sama, sebesar 1,2 m/m pada frekuensi 0,3 rad/s, amplitudo RAO *heave* sebesar 0,98 m/m pada frekuensi 0,34 rad/s.



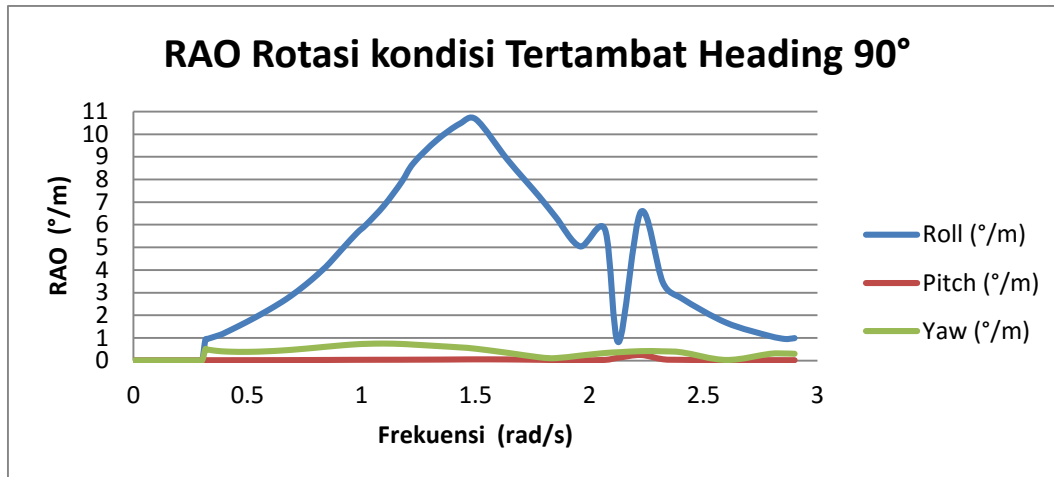
Gambar 4.35 Grafik RAO *Rectangular Array* Rotasi Kondisi Tertambat pada *Heading* 45°

Berdasarkan Gambar 4.35, dalam kondisi tertambat konfigurasi *rectangular array* pada *Heading* 45° struktur memiliki amplitudo RAO tertinggi, *roll* hampir sama dengan *pitch* sebesar 7,57 °/m pada frekuensi 1,5 rad/s, dan amplitudo RAO *yaw* mendekati nol disetiap frekuensi.



Gambar 4.36 Grafik RAO *Rectangular Linear Array* Translasi Kondisi Tertambat pada *Heading* 90°

Berdasarkan Gambar 4.36, dalam kondisi tertambat konfigurasi *rectangular array* pada *Heading* 90° struktur memiliki amplitudo RAO tertinggi, *surge* mendekati nol disetiap frekuensi, amplitudo RAO *sway* sebesar 1,64 m/m pada frekuensi 0,3 rad/s, dan amplitudo RAO *heave* sebesar 0,98 m/m pada frekuensi 0,3 rad/s.

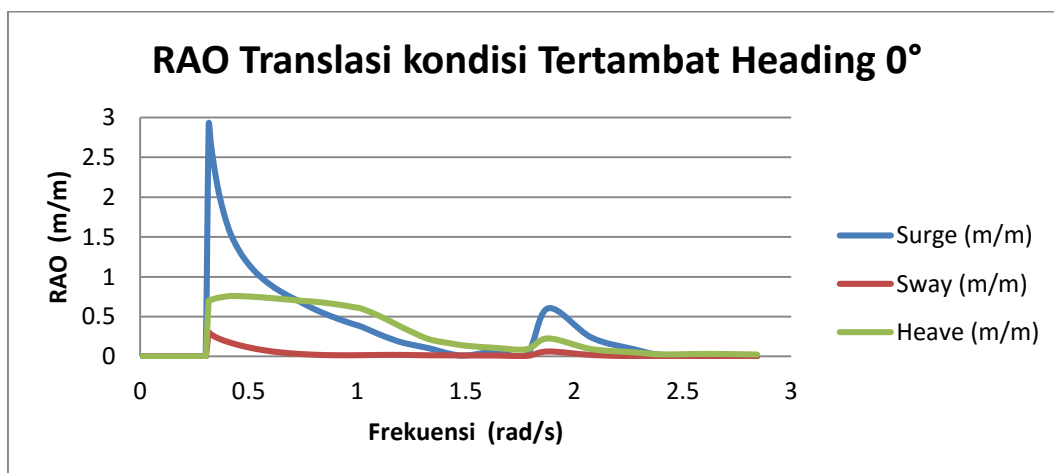


Gambar 4.37 Grafik RAO *Rectangular Array* Rotasi Kondisi Tertambat pada *Heading* 90°

Berdasarkan Gambar 4.37, dalam kondisi tertambat konfigurasi *rectangular array* pada *Heading* 90° struktur memiliki amplitudo RAO tertinggi *roll* sebesar 10,66 °/m pada frekuensi 1,5 rad/s, amplitudo RAO *pitch* mendekati nol disetiap frekuensi, dan amplitudo RAO *yaw* sebesar 0,74 °/m pada frekuensi 1,02 rad/s.

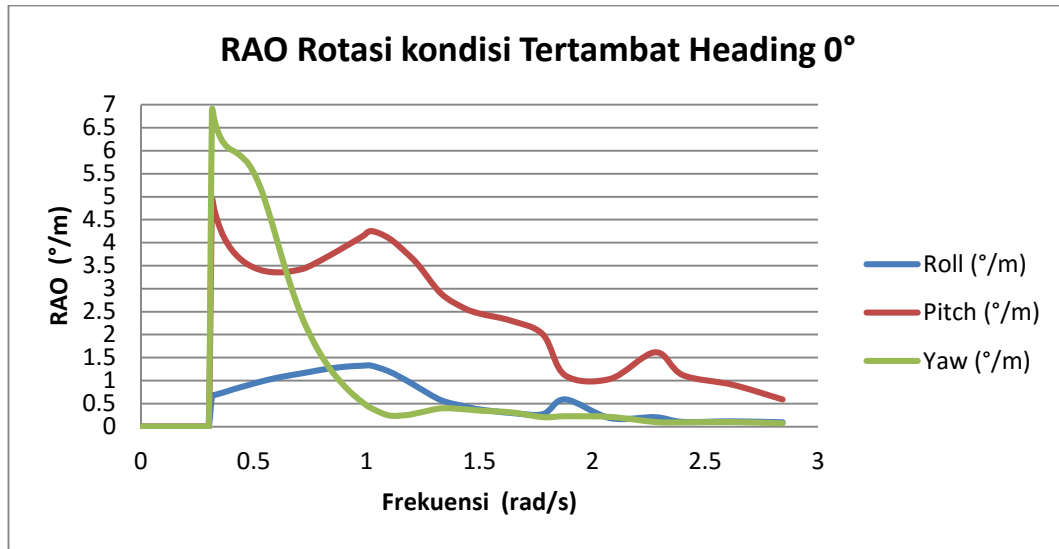
#### 4.6.3 RAO konfigurasi 8 Titik Tambat Tanpa Buoy

Grafik RAO *collar cage aquaculture* konfigurasi 8 titik tambat tanpa buoy untuk gerakan translasi dan rotasi dengan *heading angle* 0°, 45°, dan 90° berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 4.38-4.43.



Gambar 4.38 Grafik RAO 8 Titik Tambat Tanpa Buoy Translasi Kondisi Tertambat pada *Heading* 0°

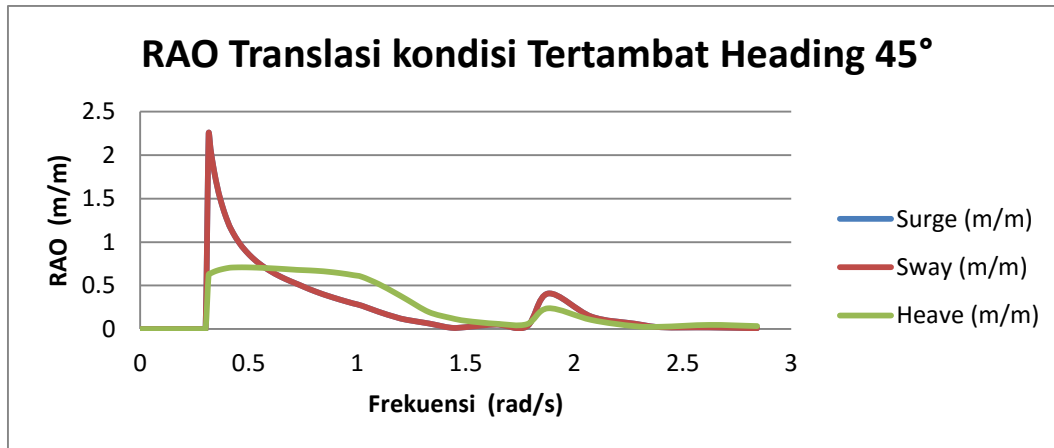
Berdasarkan Gambar 4.38, dalam kondisi tertambat konfigurasi 8 Titik Tambat Tanpa Buoy pada *Heading*  $0^\circ$  struktur memiliki amplitudo RAO tertinggi *surge* sebesar 2,9 m/m pada frekuensi 0,3 rad/s, amplitudo RAO *sway* sebesar 0,7 m/m pada frekuensi 0,3 rad/s, dan amplitudo RAO *heave sway* sebesar 0,76 m/m pada frekuensi 0,4 rad/s.



Gambar 4.39 Grafik RAO 8 Titik Tambat Tanpa Buoy Rotasi Kondisi Tertambat pada *Heading*  $0^\circ$

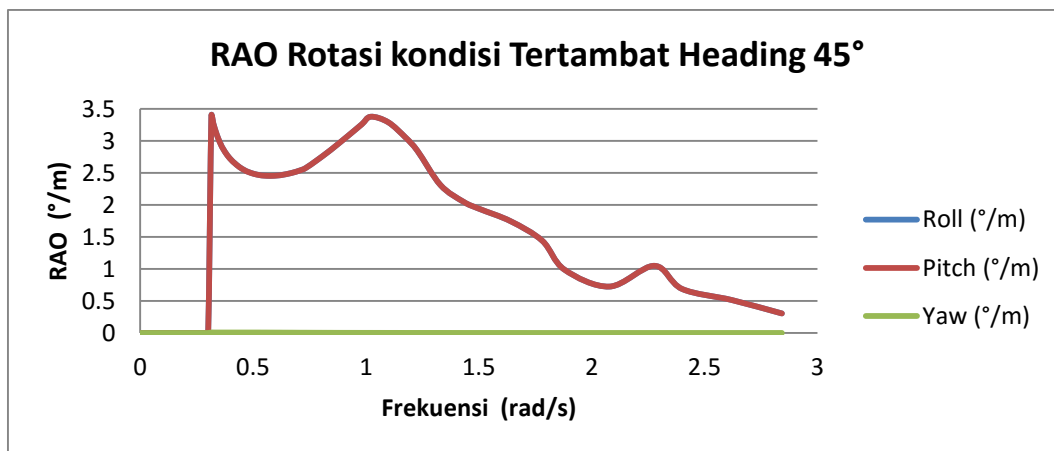
Berdasarkan Gambar 4.39, dalam kondisi tertambat konfigurasi 8 Titik Tambat Tanpa Buoy pada *Heading*  $0^\circ$  struktur memiliki amplitudo RAO tertinggi *roll* sebesar 01,33°/m pada frekuensi 1,02 rad/s, amplitudo RAO *pitch* sebesar 4,24°/m pada frekuensi 0,3 rad/s, dan amplitudo RAO *yaw* sebesar 6,9 °/m pada frekuensi 0,3 rad/s.





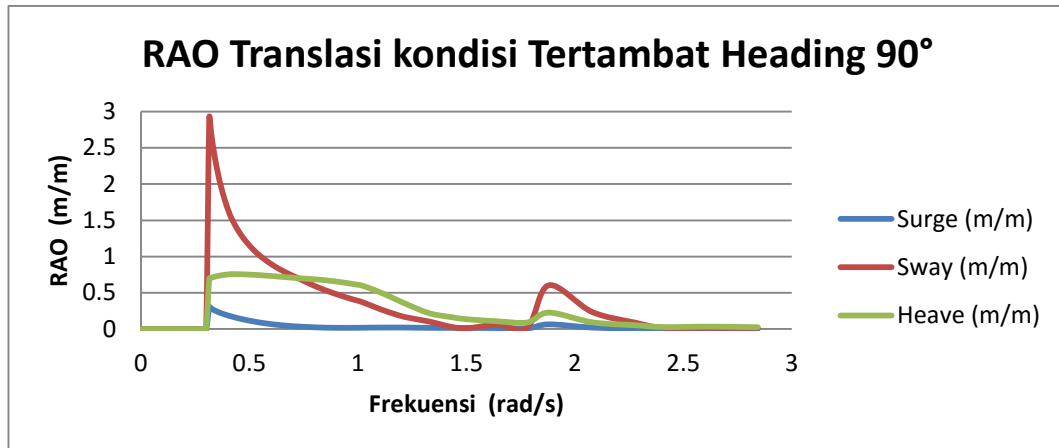
Gambar 4.40 Grafik RAO 8 Titik Tambat Tanpa Buoy Translasi Kondisi Tertambat pada *Heading* 45°

Berdasarkan Gambar 4.40, dalam kondisi tertambat konfigurasi 8 Titik Tambat Tanpa Buoy pada *Heading* 45° struktur memiliki amplitudo RAO tertinggi *surge* dan *sway* yang hampir sama, sebesar 2,24 m/m pada frekuensi 0,3 rad/s, amplitudo RAO *heave* sebesar 0,7 m/m pada frekuensi 0,5 rad/s.



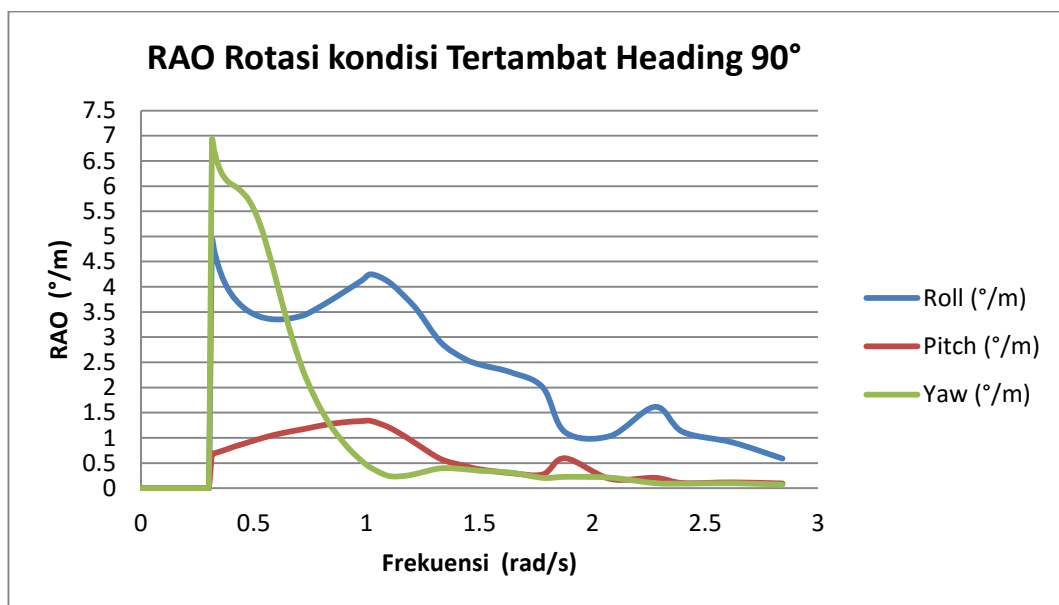
Gambar 4.41 Grafik RAO 8 Titik Tambat Tanpa Buoy Rotasi Kondisi Tertambat pada *Heading* 45°

Berdasarkan Gambar 4.41, dalam kondisi tertambat konfigurasi 8 Titik Tambat Tanpa Buoy pada *Heading* 45° struktur memiliki amplitudo RAO tertinggi, *roll* hampir sama dengan *pitch* sebesar 3,4 °/m pada frekuensi 0,3 rad/s, dan amplitudo RAO *yaw* mendekati nol disetiap frekuensi.



Gambar 4.42 Grafik RAO 8 Titik Tambat Tanpa Buoy Translasi Kondisi Tertambat pada *Heading* 90°

Berdasarkan Gambar 4.42, dalam kondisi tertambat konfigurasi 8 Titik Tambat Tanpa Buoy pada *Heading* 90° struktur memiliki amplitudo RAO tertinggi, *surge* sebesar 0,2 m/m pada frekuensi 0,4 rad/s, amplitudo RAO *sway* sebesar 2,9 m/m pada frekuensi 0,3 rad/s, dan amplitudo RAO *heave* sebesar 0,76 m/m pada frekuensi 0,46 rad/s.

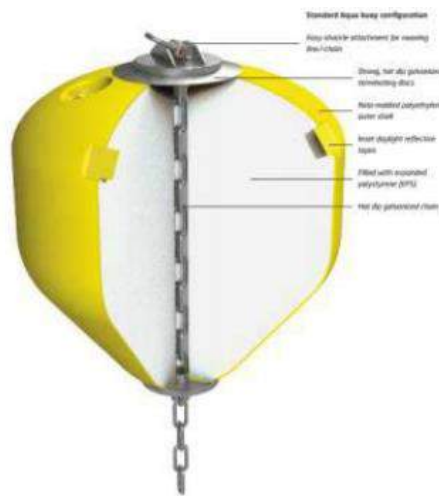


Gambar 4.43 Grafik RAO 8 Titik Tambat Tanpa Buoy Rotasi Kondisi Tertambat pada *Heading* 90°

Berdasarkan Gambar 4.43, dalam kondisi tertambat konfigurasi 8 Titik Tambat Tanpa Buoy pada *Heading* 90° struktur memiliki amplitudo RAO tertinggi

*roll* sebesar  $4,9^\circ/\text{m}$  pada frekuensi  $0,4 \text{ rad/s}$ , amplitudo RAO *pitch* sebesar  $1,33^\circ/\text{m}$  pada frekuensi  $1,02 \text{ rad/s}$ , dan amplitudo RAO *yaw* sebesar  $6,9^\circ/\text{m}$  pada frekuensi  $0,3 \text{ rad/s}$ .

*Buoy* yang digunakan dalam model ini adalah *buoy* khusus yang dirancang khusus untuk struktur *aquaculture*, yaitu Aqua 850 Offshore Aquaculture Buoy seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.44. Spesifikasi dari *buoy* dapat dilihat pada Tabel 4.16.



Gambar 4.44 Aqua 850 Offshore Aquaculture Buoy

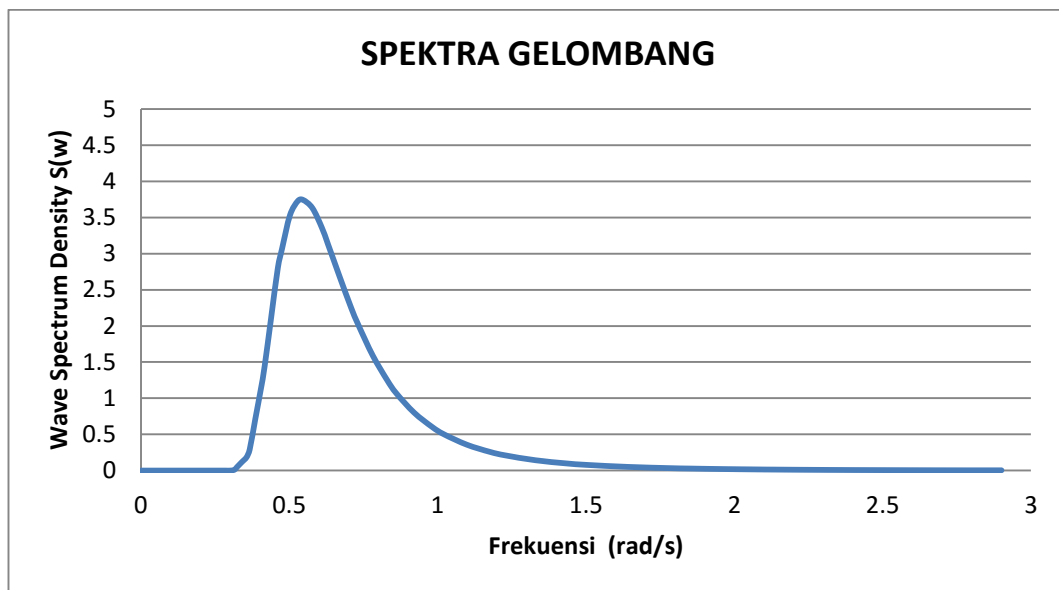
Tabel 4.16 Spesifikasi Aqua 850 Offshore Aquaculture Buoy

Parameter	Nilai	Satuan
Volume	873	liter
Weight	73	kg
Net Buoyancy	800	kg
Length	143	cm
Diameter	120	cm

#### 4.7 Spektrum Gelombang

Pemilihan spektrum gelombang untuk analisis respon gerak struktur pada gelombang acak adalah berdasarkan kondisi riil laut yang ditinjau. Dari beberapa

jenis spektrum gelombang, yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah Spektrum JONSWAP. Berdasarkan DNV OS E-301 periode puncak gelombang ( $T_p$ ) kondisi ekstrem 100 tahunan pada perairan Laut Selatan adalah 11,5 s dan tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) adalah 4,8 m. Sehingga  $T_p/\sqrt{H_s} = 5,2$ , maka untuk nilai  $\gamma$  adalah 1. Grafik spektrum gelombang JONSWAP untuk perairan Laut Selatan dimana struktur *collar cage aquaculture* beroperasi tercantum pada Gambar 4.45.



Gambar 4.45 Grafik Spektrum JONSWAP ( $H_s = 4.8$  m,  $T_p = 11.5$  s)

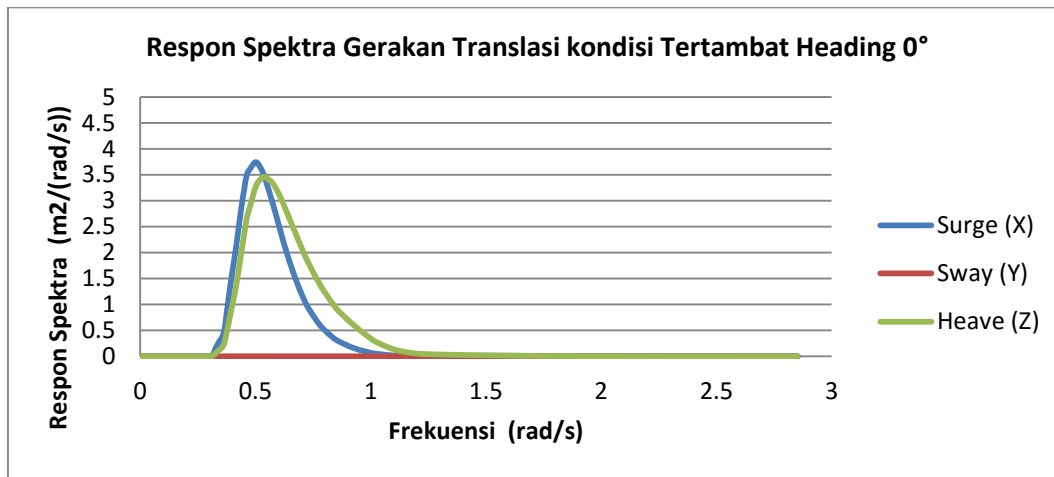
#### 4.8 Respon Spektra dan Respon Struktur

Respon spektra merupakan representasi riil dari respon struktur di gelombang acak. Hal ini dikarenakan gelombang acak merupakan superposisi dari gelombang reguler dalam frekuensi yang berbeda dalam jumlah tak terhingga sehingga respon struktur tidak bisa direpresentasikan oleh RAO saja karena RAO hanya dapat merepresentasikan respon struktur dalam satu kondisi gelombang saja. Untuk mengakomodasi semua kondisi gelombang di gelombang acak maka respon struktur dinyatakan sebagai respon kerapatan energi pada struktur akibat gelombang atau yang dapat disebut sebagai respon spektra.

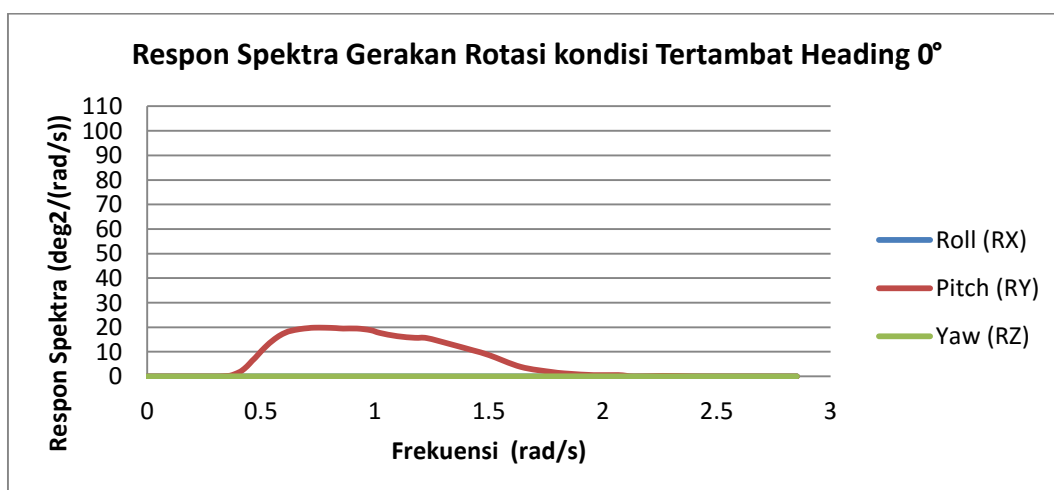
Respon spektra didapatkan dengan cara mengkalikan harga spektra gelombang dengan RAO kuadrat. Dari kurva tersebut nantinya akan dihitung luasan di bawah kurva ( $m_0$ ) untuk mendapatkan harga-harga stokastik amplitudo spesifik dari setiap mode gerakan.

#### 4.8.1 Respon Spektra Linear Array

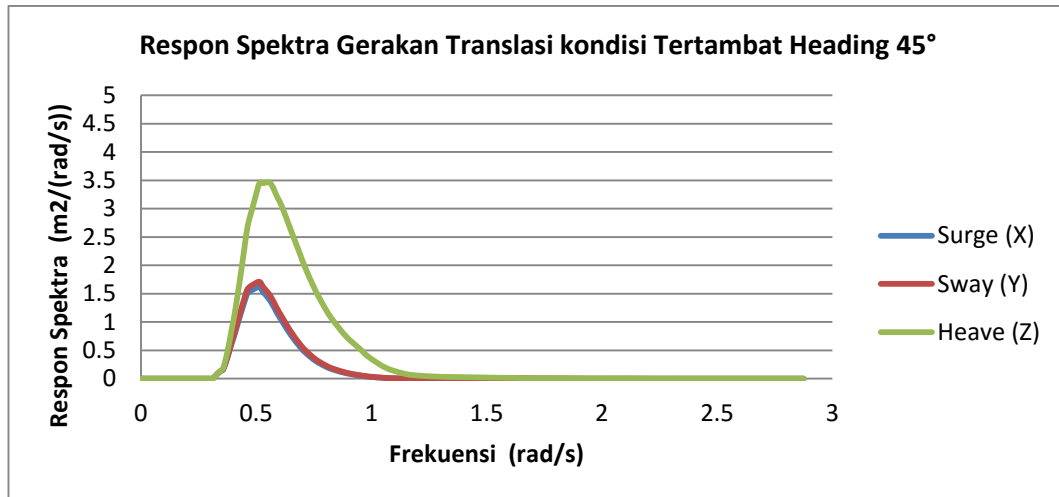
Kurva spektra respons *collar cage aquaculture* konfigurasi *linear array* untuk gerakan translasi dan rotasi dengan *heading angle*  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ , dan  $90^\circ$  berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 4.46-4.51. Serta respons struktur dapat dilihat pada tabel 4.17.



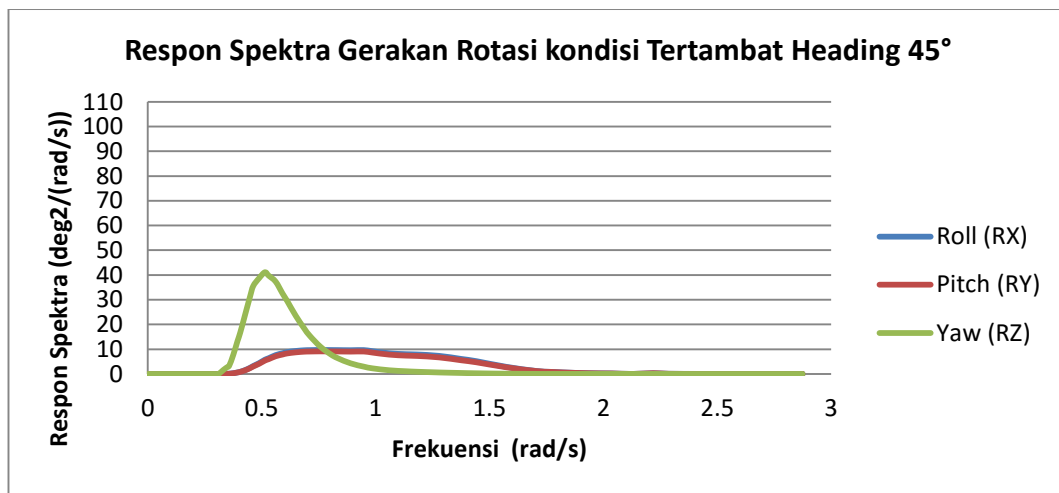
Gambar 4.46 Respons spektra *Linear Array* Translasi Kondisi Tertambat pada *Heading*  $0^\circ$



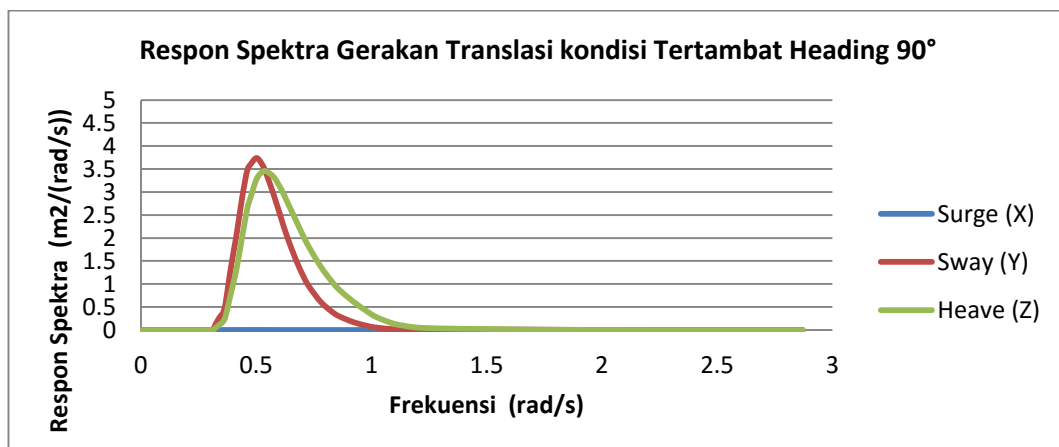
Gambar 4.47 Respons spektra *Linear Array* Rotasi Kondisi Tertambat pada *Heading*  $0^\circ$



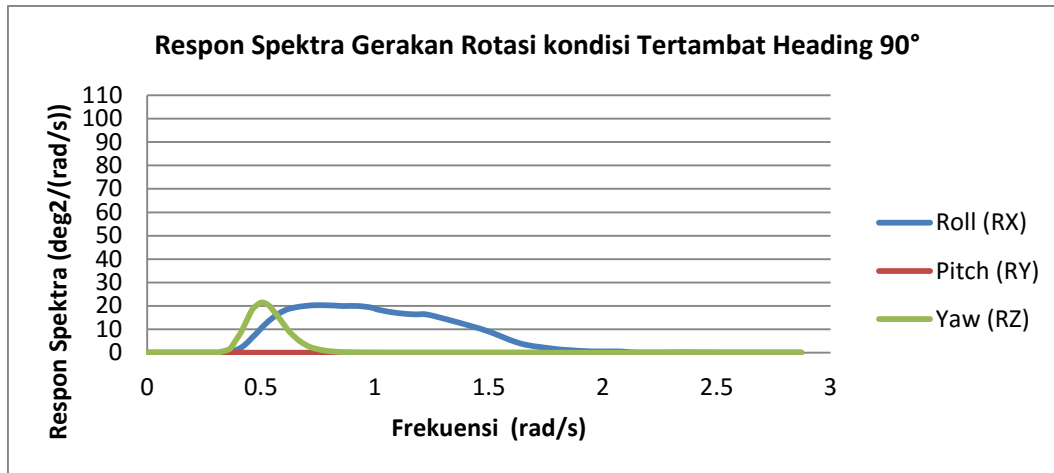
Gambar 4.48 Respons spektra *Linear Array* Translasi Kondisi Tertambat pada Heading 45°



Gambar 4.49 Respons spektra *Linear Array* Rotasi Kondisi Tertambat pada Heading 45°



Gambar 4.50 Respons Spektra *Linear Array* Translasi Kondisi Tertambat pada Heading 90°



Gambar 4.51 Respons Spektra *Linear Array* Rotasi Kondisi Tertambat pada Heading 90°

Setelah mendapatkan seluruh kurva respons spektra seperti pada gambar 4.46 sampai dengan gambar 4.51, luasan dibawah kurva dicari untuk perhitungan motion struktur. Berikut ini adalah hasil perhitungan respons struktur pada Tabel 4.17.

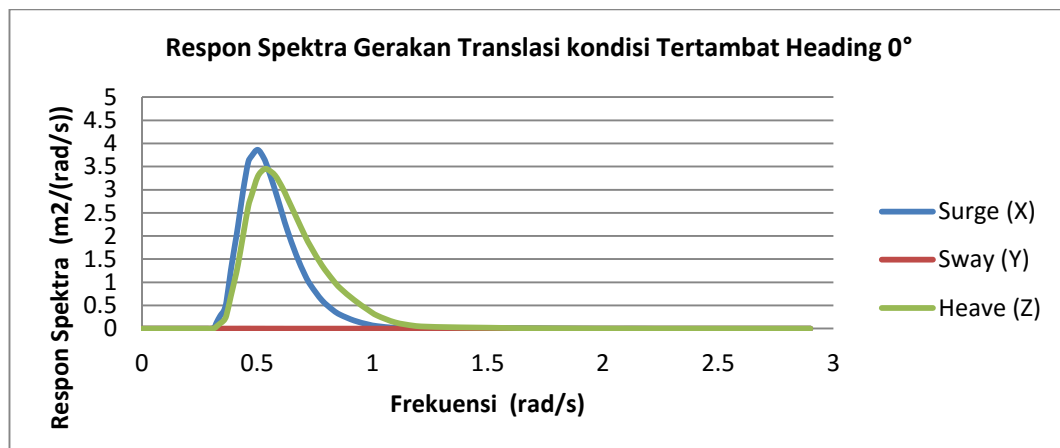
Tabel 4.17 Amplitudo Struktur setiap Mode Gerakan

Heading	Mode Gerakan	m0	Amplitudo Signifikan	Amplitudo Rata-rata	1/10 Amplitudo
0	Surge (m)	0.220	1.878	1.173	2.397
	Sway (m)	0.000	0.000	0.000	0.000
	Heave (m)	0.275	2.097	1.311	2.677
	Roll (deg)	0.000	0.000	0.000	0.000
	Pitch (deg)	4.776	8.742	5.464	11.159
	Yaw (deg)	0.000	0.000	0.000	0.000
45	Surge (m)	0.096	1.238	0.774	1.580
	Sway (m)	0.096	1.238	0.774	1.580
	Heave (m)	0.261	2.043	1.277	2.608
	Roll (deg)	1.780	5.337	3.336	6.812
	Pitch (deg)	1.780	5.337	3.336	6.812
	Yaw (deg)	2.403	6.201	3.876	7.916
90	Surge (m)	0.000	0.000	0.000	0.000
	Sway (m)	0.311	2.230	1.394	2.847
	Heave (m)	0.392	2.506	1.566	3.198
	Roll (deg)	4.743	8.712	5.445	11.120
	Pitch (deg)	0.000	0.000	0.000	0.000
	Yaw (deg)	0.956	3.910	2.444	4.992

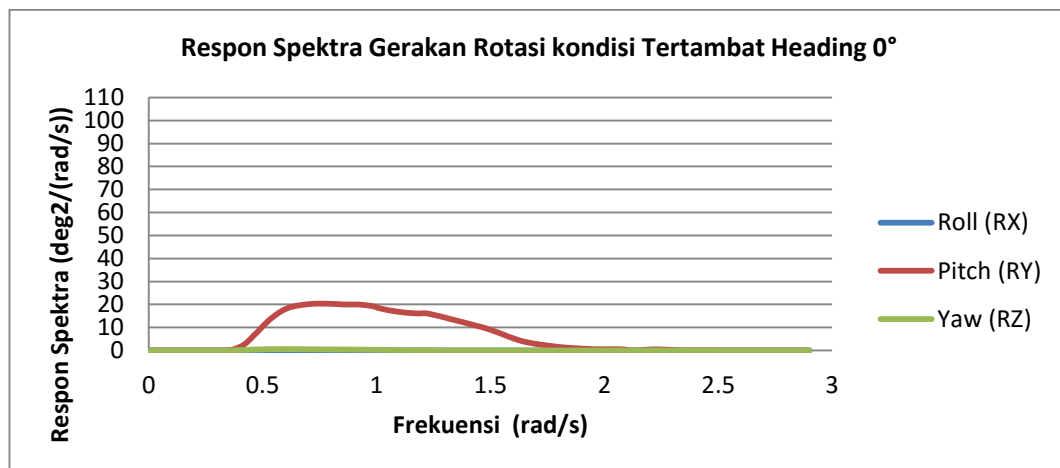
Dari Tabel 4.17 dapat diketahui bahwa gerakan amplitudo rata-rata arah translasi memiliki nilai terbesar yaitu 1,566 m dengan heading 90° dan nilai terbesar arah rotasi adalah 5,464° dengan heading 0°.

#### 4.8.2 Respon Spektra Rectangular Array

Kurva spektra respons *collar cage aquaculture* konfigurasi *rectangular array* untuk gerakan translasi dan rotasi dengan *heading angle* 0°, 45°, dan 90° berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 4.52-4.57. Serta respons struktur dapat dilihat pada tabel 4.18.

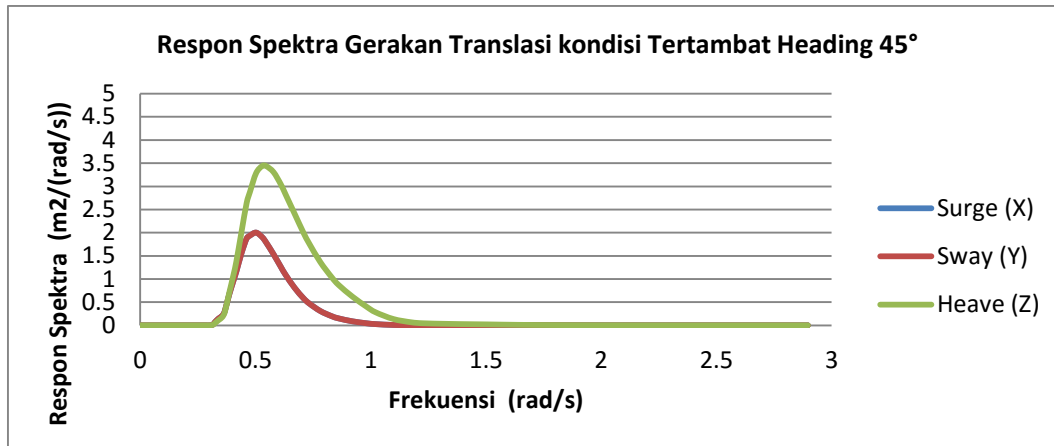


Gambar 4.52 Respons spektra *Rectangular Array* Translasi Kondisi Tertambat pada *Heading* 0°

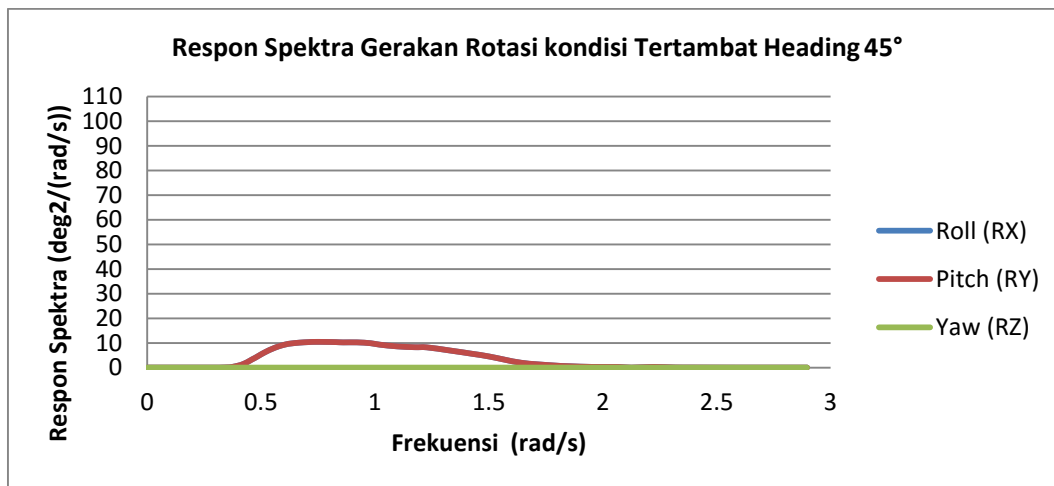


Gambar 4.53 Respons spektra *Rectangular Array* Rotasi Kondisi Tertambat pada *Heading* 0°

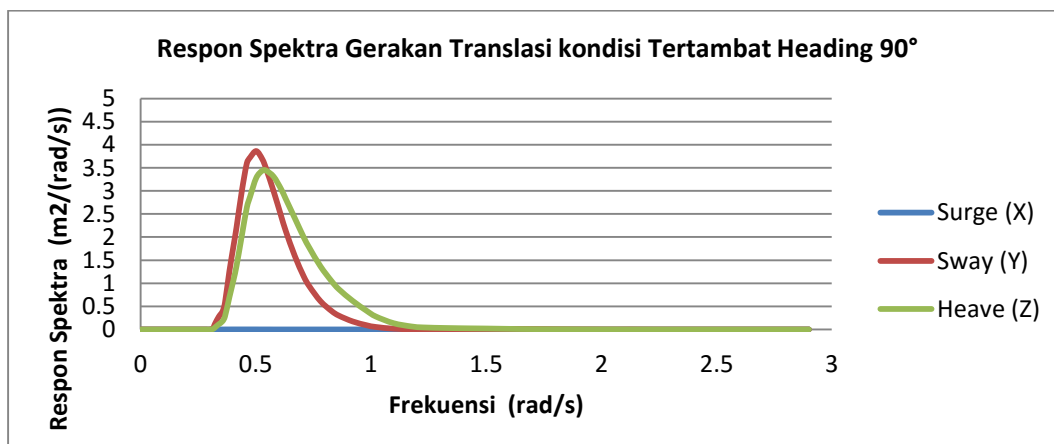




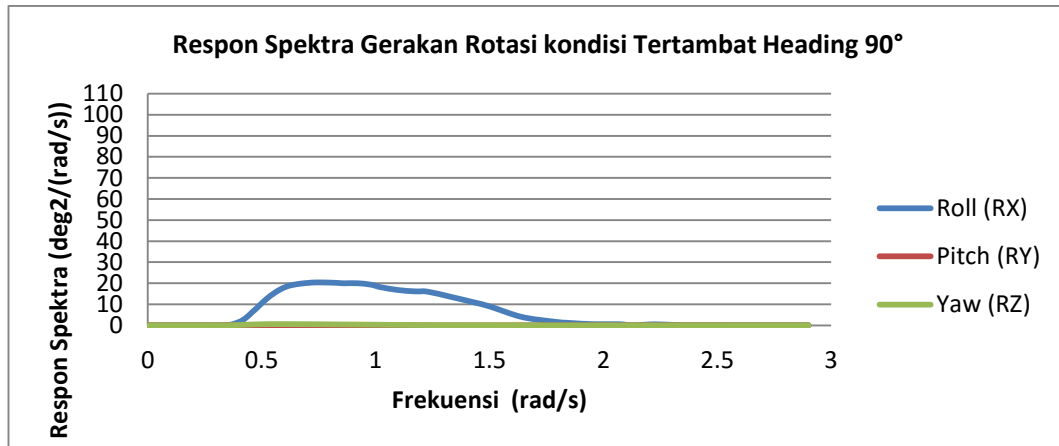
Gambar 4.54 Respons spektra *Rectangular Array* Translasi Kondisi Tertambat pada Heading 45°



Gambar 4.55 Respons spektra *Rectangular Array* Rotasi Kondisi Tertambat pada Heading 45°



Gambar 4.56 Respons Spektra *Rectangular Array* Translasi Kondisi Tertambat pada Heading 90°



Gambar 4.57 Respons Spektra *Rectangular Array* Rotasi Kondisi Tertambat pada Heading 90°

Setelah mendapatkan seluruh kurva respons spektra seperti pada gambar 4.52 sampai dengan gambar 4.57, luasan dibawah kurva dicari untuk perhitungan motion struktur. Berikut ini adalah hasil perhitungan respons struktur pada Tabel 4.18.

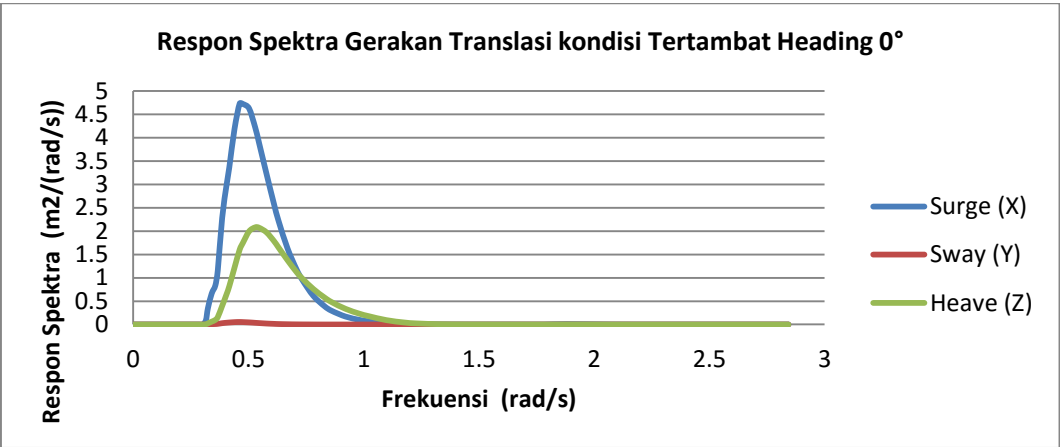
Tabel 4.18 Amplitudo Struktur setiap Mode Gerakan

Heading	Mode Gerakan	m0	Amplitudo Signifikan	Amplitudo Rata-rata	1/10 Amplitudo
0	Surge (m)	0.221	1.882	1.177	2.403
	Sway (m)	0.000	0.000	0.000	0.000
	Heave (m)	0.278	2.110	1.319	2.694
	Roll (deg)	0.000	0.000	0.000	0.000
	Pitch (deg)	4.079	8.078	5.049	10.312
	Yaw (deg)	0.000	0.000	0.000	0.000
45	Surge (m)	0.122	1.397	0.873	1.784
	Sway (m)	0.122	1.397	0.873	1.784
	Heave (m)	0.294	2.168	1.355	2.768
	Roll (deg)	1.999	5.655	3.535	7.219
	Pitch (deg)	1.999	5.655	3.535	7.219
	Yaw (deg)	0.000	0.000	0.000	0.000
90	Surge (m)	0.000	0.000	0.000	0.000
	Sway (m)	0.224	1.894	1.183	2.417
	Heave (m)	0.266	2.062	1.289	2.632
	Roll (deg)	4.095	8.094	5.059	10.332
	Pitch (deg)	0.000	0.000	0.000	0.000
	Yaw (deg)	0.000	0.000	0.000	0.000

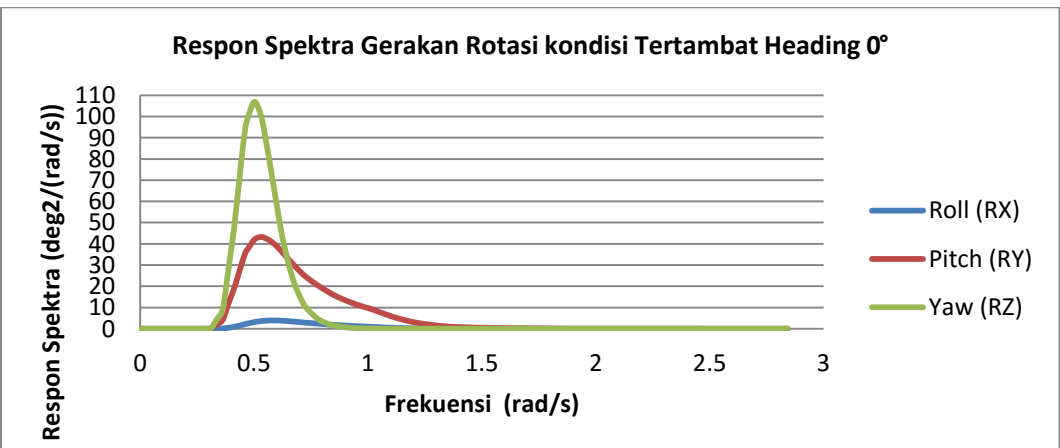
Dari Tabel 4.18 dapat diketahui bahwa gerakan amplitudo rata-rata arah translasi memiliki nilai terbesar yaitu 1,355 m dengan heading 45° dan nilai terbesar arah rotasi adalah 5,059° dengan heading 90°.

**4.8.3 Respon Spektra Konfigurasi 8 Titik Tambat Tanpa Buoy**

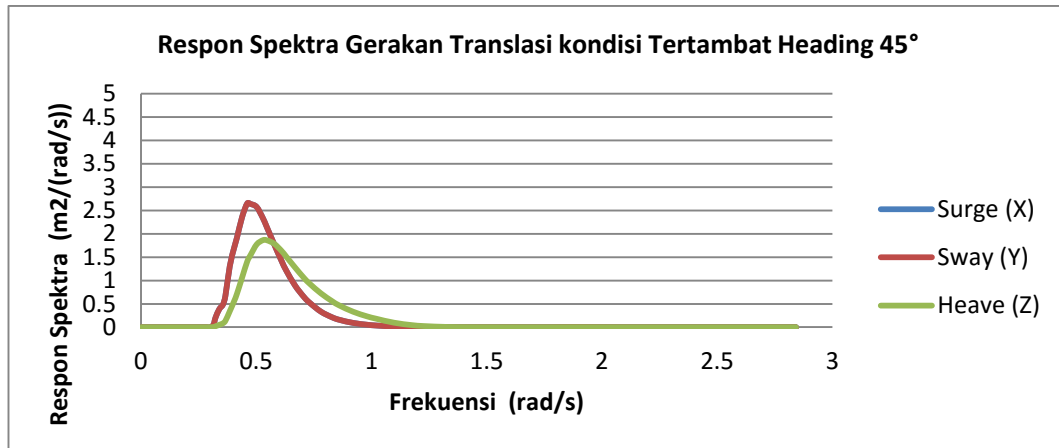
Kurva spektra respons *collar cage aquaculture* konfigurasi 8 titik tambat tanpa buoy untuk gerakan translasi dan rotasi dengan *heading angle* 0°, 45°, dan 90° berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 4.58-4.63. Serta respons struktur dapat dilihat pada tabel 4.19.



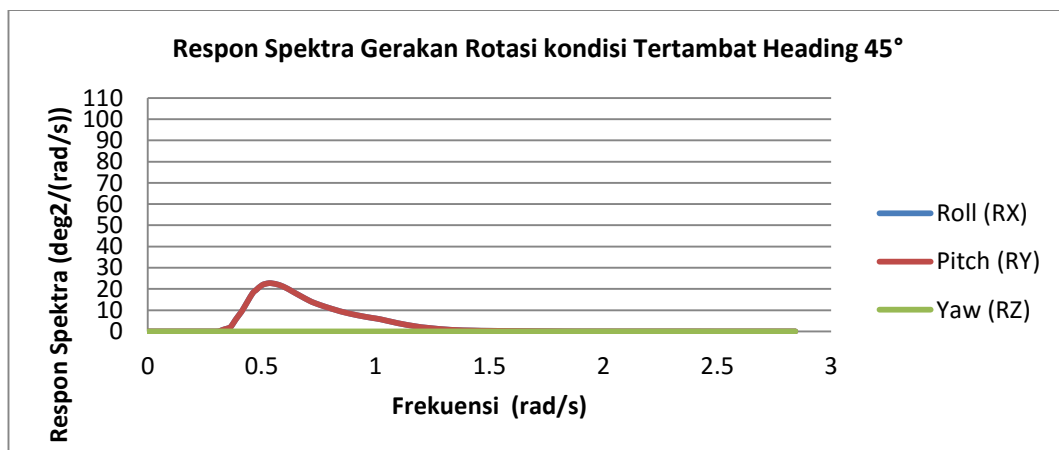
Gambar 4.58 Respons spektra 8 titik tambat tanpa buoy Translasi Kondisi Tertambat pada *Heading* 0°



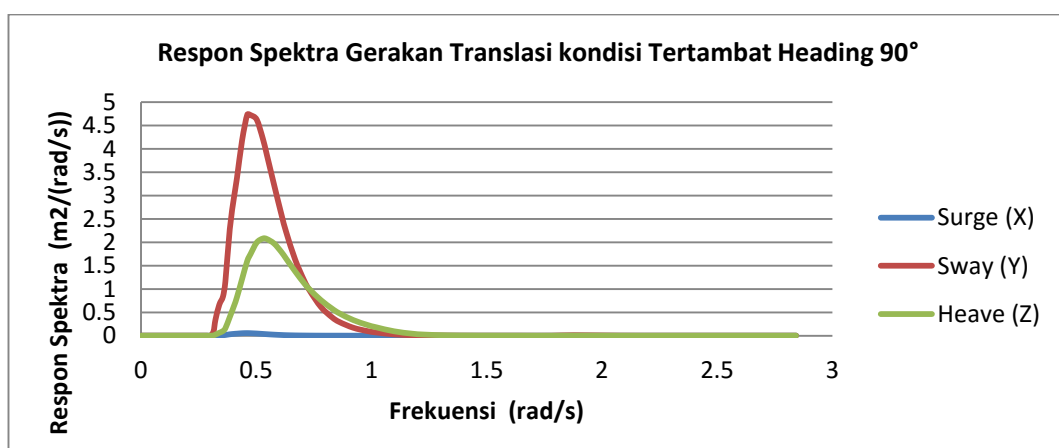
Gambar 4.59 Respons spektra 8 titik tambat tanpa buoy Rotasi Kondisi Tertambat pada *Heading* 0°



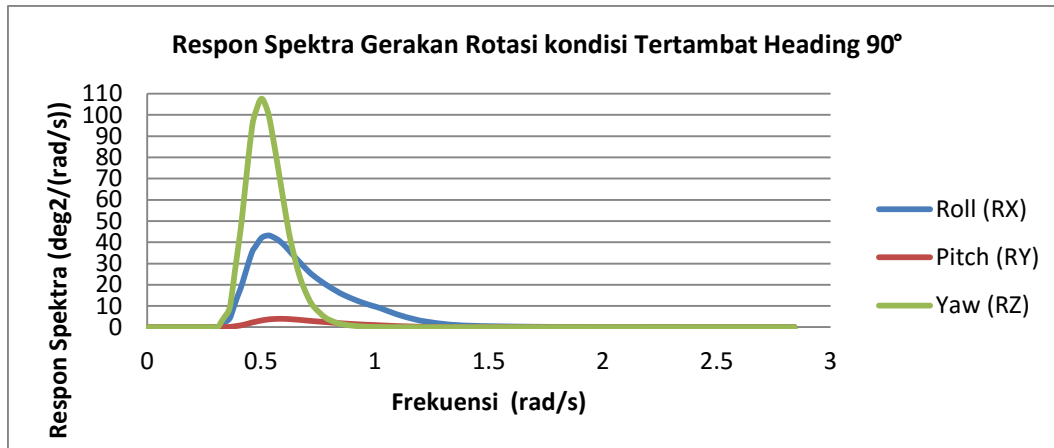
Gambar 4.60 Respons spektra 8 titik tambat tanpa buoy Translasi Kondisi Tertambat pada *Heading* 45°



Gambar 4.61 Respons spektra 8 titik tambat tanpa buoy Rotasi Kondisi Tertambat pada *Heading* 45°



Gambar 4.62 Respons Spektra 8 titik tambat tanpa buoy Translasi Kondisi Tertambat pada *Heading* 90°



Gambar 4.63 Respons Spektra 8 titik tambat tanpa buoy Rotasi Kondisi Tertambat pada *Heading* 90°

Setelah mendapatkan seluruh kurva respons spektra seperti pada gambar 4.58 sampai dengan gambar 4.63, luasan dibawah kurva dicari untuk perhitungan motion struktur. Berikut ini adalah hasil perhitungan respons struktur pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Amplitudo Struktur setiap Mode Gerakan

Heading	Mode Gerakan	m0	Amplitudo Signifikan	Amplitudo Rata-rata	1/10 Amplitudo
0	Surge (m)	0.3237	2.2756	1.4223	2.9048
	Sway (m)	0.0038	0.2458	0.1536	0.3137
	Heave (m)	0.1643	1.6211	1.0132	2.0693
	Roll (deg)	0.3879	2.4913	1.5571	3.1802
	Pitch (deg)	6.0386	9.8294	6.1434	12.5472
	Yaw (deg)	4.8867	8.8424	5.5265	11.2873
45	Surge (m)	0.1825	1.7086	1.0679	2.1810
	Sway (m)	0.1825	1.7086	1.0679	2.1810
	Heave (m)	0.1312	1.4489	0.9055	1.8495
	Roll (deg)	4.8451	8.8047	5.5029	11.2391
	Pitch (deg)	4.8451	8.8047	5.5029	11.2391
	Yaw (deg)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90	Surge (m)	0.0025	0.1990	0.1244	0.2540
	Sway (m)	0.2201	1.8764	1.1727	2.3952
	Heave (m)	0.1572	1.5857	0.9911	2.0241
	Roll (deg)	4.1498	8.1484	5.0928	10.4015
	Pitch (deg)	0.4268	2.6133	1.6333	3.3358
	Yaw (deg)	6.9250	10.5262	6.5788	13.4366

Dari Tabel 4.19 dapat diketahui bahwa gerakan amplitudo rata-rata arah translasi memiliki nilai terbesar yaitu 1,42 m dengan heading 0° dan nilai terbesar arah rotasi adalah 6,58° dengan heading 90°.

#### 4.9 Analisa Mooring Tension

Tegangan yang terjadi pada *mooring line* perlu dianalisa untuk mengetahui tegangan maksimum yang dialami *mooring line* saat terkena beban gelombang. Semakin besar nilai *tension* yang terjadi dibandingkan dengan nilai batas kapasitas tegangan (*breaking strength*) yang diterima, maka akan semakin rentan *mooring line* tersebut untuk putus. Oleh sebab itu dalam perancangannya *tension* maksimum yang bekerja pada struktur harus lebih kecil daripada *tension* maksimum yang diijinkan.

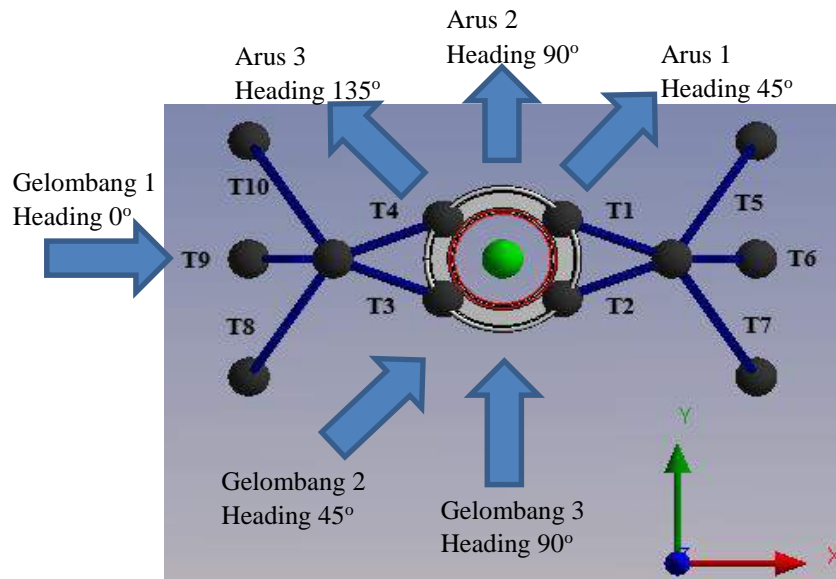
*Tension* maksimum yang diijinkan pada analisis ini akan disesuaikan dengan kriteria *safety factor* yang direkomendasikan oleh DNV yaitu 60 persen dari *maximum breaking load mooring lines*. *Maximum breaking load* dari *mooring line* yang ada pada analisa ini adalah 2501500 N, sehingga *tension* maksimum yang diijinkan adalah 1471470,588 N atau 1471,5 kN. Analisis dilakukan dengan berbasis *time domain* selama 3 jam (10800 s) menggunakan *software* ANSYS AQWA. Hasil dari ketiga analisis tersebut disajikan pada Tabel 4.20, Tabel 4.21, Tabel 4.23 berturut-turut adalah *tension* konfigurasi *linear array*, *tension* konfigurasi *rectangular array*, *tension* konfigurasi 8 titik tambat tanpa buoy, serta dengan skema penomoran *mooring lines* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.64, Gambar 4.65, Gambar 4.66 berikut ini.

$$\begin{aligned}
 \text{Maximum Breaking Load} &= 2501500 \text{ N} &= 2501.5 \text{ kN} \\
 \text{Safety Factor} &= 1.7 \\
 \text{Allowable Tension} &= \frac{\text{Maximum Breaking Load}}{\text{Safety Factor}} \\
 &= \frac{2501500}{1.7} \\
 &= 1471470.588 \text{ N} \\
 &= 1471.470588 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.20 Hasil Analisis *Tension* Maksimum pada *Mooring Line* Konfigurasi *Linear Array*

Heading	Line	Maximum Tension (kN)	Allowable Tension (kN)	Unity Check
0	T1	863.748	1471.47	0.59
	T2	836.336		0.57
	T3	1067.299		0.73
	T4	1117.038		0.76
	T5	981.531		0.67
	T6	729.674		0.50
	T7	1129.053		0.77
	T8	1334.124		0.91
	T9	1074.455		0.73
	T10	1396.298		0.95
45	T1	850.902	1471.47	0.58
	T2	836.198		0.57
	T3	938.095		0.64
	T4	804.674		0.55
	T5	886.357		0.60
	T6	497.362		0.34
	T7	1379.728		0.94
	T8	1172.619		0.80
	T9	568.956		0.39
	T10	914.403		0.62
90	T1	926.170	1471.47	0.63
	T2	903.860		0.61
	T3	917.954		0.62
	T4	926.106		0.63
	T5	964.760		0.66
	T6	430.027		0.29
	T7	1220.212		0.83
	T8	1147.442		0.78
	T9	429.478		0.29
	T10	964.693		0.66

Dari tabel terlihat bahwa pada Konfigurasi *Linear Array*, mooring line yang mengalami tension terbesar dengan UC mendekati satu adalah tali T10. Tetapi karena nilai UC masih dibawah satu, maka mooring line masih memadai untuk mengatasi beban yang bekerja.



Gambar 4.64 Skema Penomoran *Mooring Lines* Konfigurasi *Linear Array*

Panjang dari *mooring line* untuk T1, T2, T3, dan T4 adalah 12,2 m. Sedangkan untuk T5, T6, T7, T8, T9, T10 adalah 54 m.

Berikut ini adalah tabel analisa tension beserta penomoran gambar konfigurasi *Rectangular Array*.

Tabel 4.21 Hasil Analisis *Tension* Maksimum pada *Mooring Lines*  
Konfigurasi *Rectangular Array*

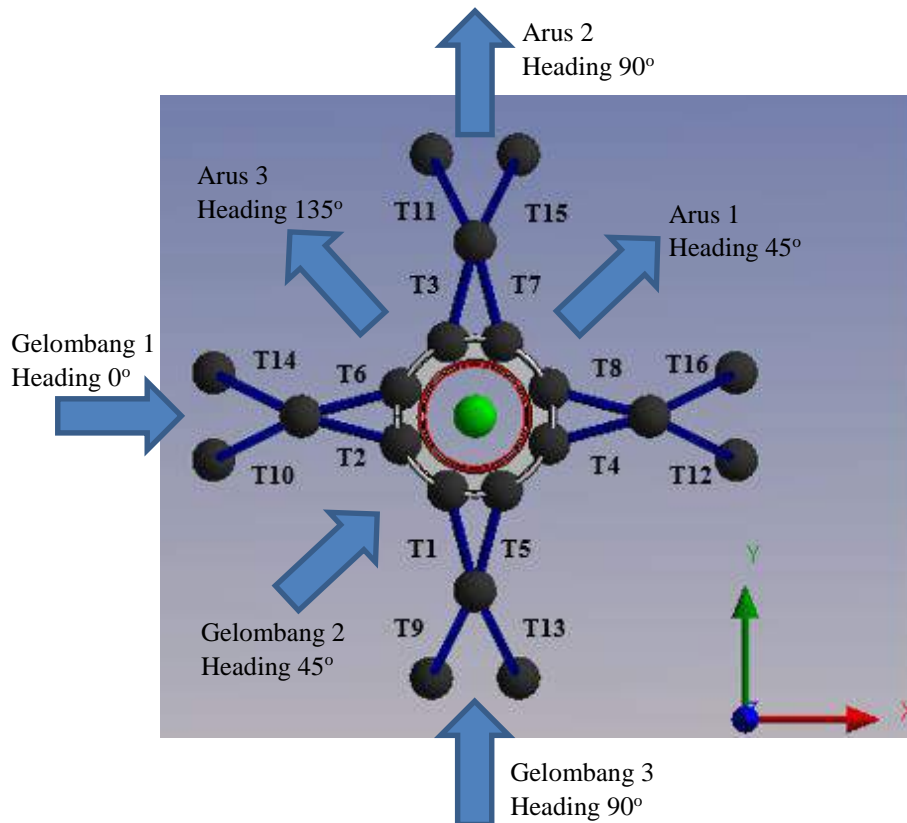
Heading	Line	Maximum Tension (kN)	Allowable Tension (kN)	Unity Check
0	T1	287.661	1471.47	0.20
	T2	283.273		0.19
	T3	167.715		0.11
	T4	166.553		0.11
	T5	254.325		0.17
	T6	244.325		0.17
	T7	179.711		0.12
	T8	191.437		0.13
	T9	1150.642		0.78
	T10	1133.092		0.77
	T11	670.860		0.46
	T12	666.213		0.45
	T13	1017.299		0.69
	T14	977.298		0.66
	T15	718.844		0.49
	T16	765.749		0.52



Tabel 4.22 Hasil Analisis *Tension* Maksimum pada *Mooring Lines* Konfigurasi *Rectangular Array* (lanjutan)

Heading	Line	Maximum Tension (kN)	Allowable Tension (kN)	Unity Check
45	T1	238.598	1471.47	0.16
	T2	223.089		0.15
	T3	219.650		0.15
	T4	252.260		0.17
	T5	240.923		0.16
	T6	224.804		0.15
	T7	211.250		0.14
	T8	245.396		0.17
	T9	954.390		0.65
	T10	892.358		0.61
	T11	878.601		0.60
	T12	1009.039		0.69
	T13	963.692		0.65
	T14	899.216		0.61
	T15	845.000		0.57
	T16	981.583		0.67
90	T1	180.532	1471.47	0.12
	T2	250.304		0.17
	T3	178.273		0.12
	T4	239.371		0.16
	T5	182.371		0.12
	T6	249.683		0.17
	T7	180.720		0.12
	T8	239.455		0.16
	T9	722.128		0.49
	T10	1001.216		0.68
	T11	713.091		0.48
	T12	957.482		0.65
	T13	729.484		0.50
	T14	998.732		0.68
	T15	722.881		0.49
	T16	957.820		0.65

Dari tabel terlihat bahwa pada Konfigurasi *Rectangular Array*, mooring line yang mengalami tension terbesar adalah tali T9. Tetapi karena nilai UC masih dibawah satu, maka mooring line masih memadai untuk mengatasi beban yang bekerja.



Gambar 4.65 Skema Penomoran *Mooring Lines* Konfigurasi *Rectangular Array*

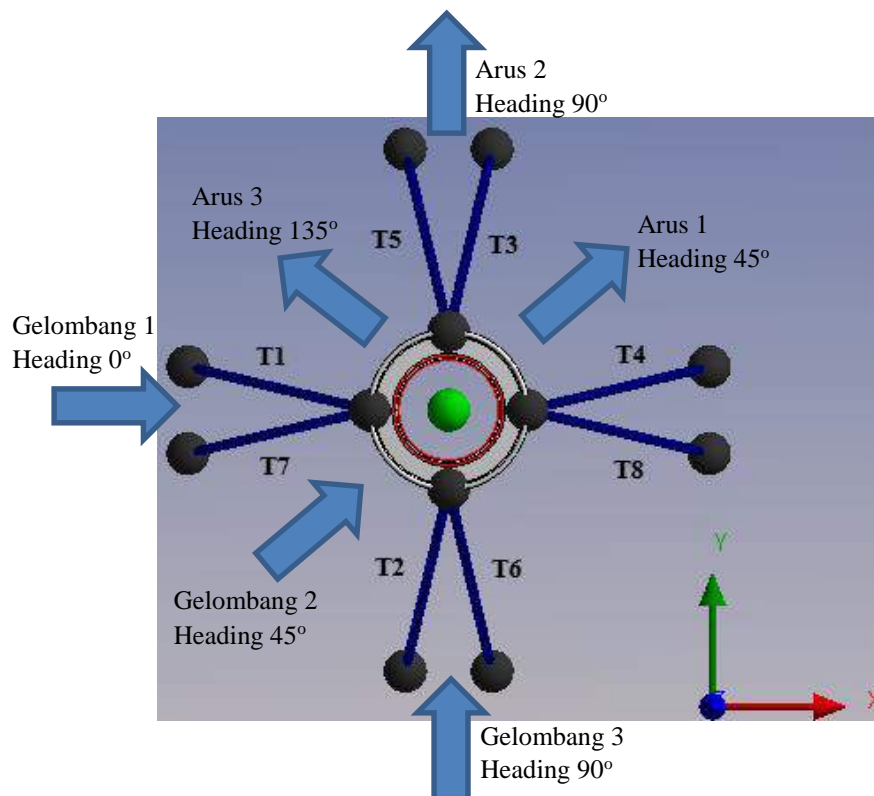
Panjang dari *mooring line* untuk T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, dan T8 adalah 11,95 m. Sedangkan untuk T9, T10, T11, T12, T13, T14, T15, dan T16 adalah 52 m.

Berikut ini adalah tabel analisa tension beserta penomoran gambar konfigurasi 8 Titik Tambat Tanpa Buoy.

Tabel 4.23 Hasil Analisis *Tension* Maksimum pada *Mooring Lines* Konfigurasi 8 Titik Tambat Tanpa Buoy

Heading	Line	Tension (kN)	Allowable Tension (kN)	Unity Check
0	T1	1312.52	1471.47	0.89
	T2	904.81		0.61
	T3	1159.85		0.79
	T4	910.57		0.62
	T5	1230.39		0.84
	T6	839.75		0.57
	T7	1253.43		0.85
	T8	843.25		0.57
45	T1	1091.93	1471.47	0.74
	T2	1054.46		0.72
	T3	1033.32		0.70
	T4	982.91		0.67
	T5	1061.83		0.72
	T6	917.02		0.62
	T7	1224.22		0.83
	T8	1121.55		0.76
90	T1	886.07	1471.47	0.60
	T2	1287.63		0.88
	T3	940.05		0.64
	T4	1213.05		0.82
	T5	915.86		0.62
	T6	1269.59		0.86
	T7	999.29		0.68
	T8	1235.05		0.84

Dari tabel terlihat bahwa pada Konfigurasi 8 Titik Tambat Tanpa Buoy, mooring line yang mengalami tension terbesar dengan UC mendekati satu adalah tali T1. Tetapi karena nilai UC masih dibawah satu, maka mooring line masih memadai untuk mengatasi beban yang bekerja.



Gambar 4.66 Skema Penomoran *Mooring Lines* Konfigurasi 8 Titik Tambat Tanpa Buoy

Panjang dari *mooring line* untuk T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, dan T8 adalah 55 m.

#### 4.10 Analisa Offset

Analisa *offset* dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pergeseran horizontal pada struktur sejauh kesanggupan *mooring line* saat menerima beban. Setelah melakukan analisis pada ANSYS AQWA, diperoleh maksimum *offset* dari setiap konfigurasi sistem mooring. Berikut ini adalah hasil dari maksimum *offset* dari semua konfigurasi pada Tabel 4.24.

Tabel 4.24 Maksimum Offset

Maksimum Offset (m)			
Konfigurasi	Arah Pembebanan		
	0 °	45 °	90 °
Linear Array	15	14,8	13,5
Rectangular Array	8,8	8	7,7
8 Titik Tambat Tanpa Buoy	7,15	6	6,14

Dari tabel terlihat bahwa pada konfigurasi *Linear Array* memiliki offset tertinggi sebesar 15 m, konfigurasi *Rectangular Array* memiliki offset tertinggi sebesar 8,8 m, pada konfigurasi 8 titik tambat tanpa *buoy* memiliki offset tertinggi sebesar 7,15 m.

#### 4.11 Analisa Perbandingan Konfigurasi Sistem Mooring

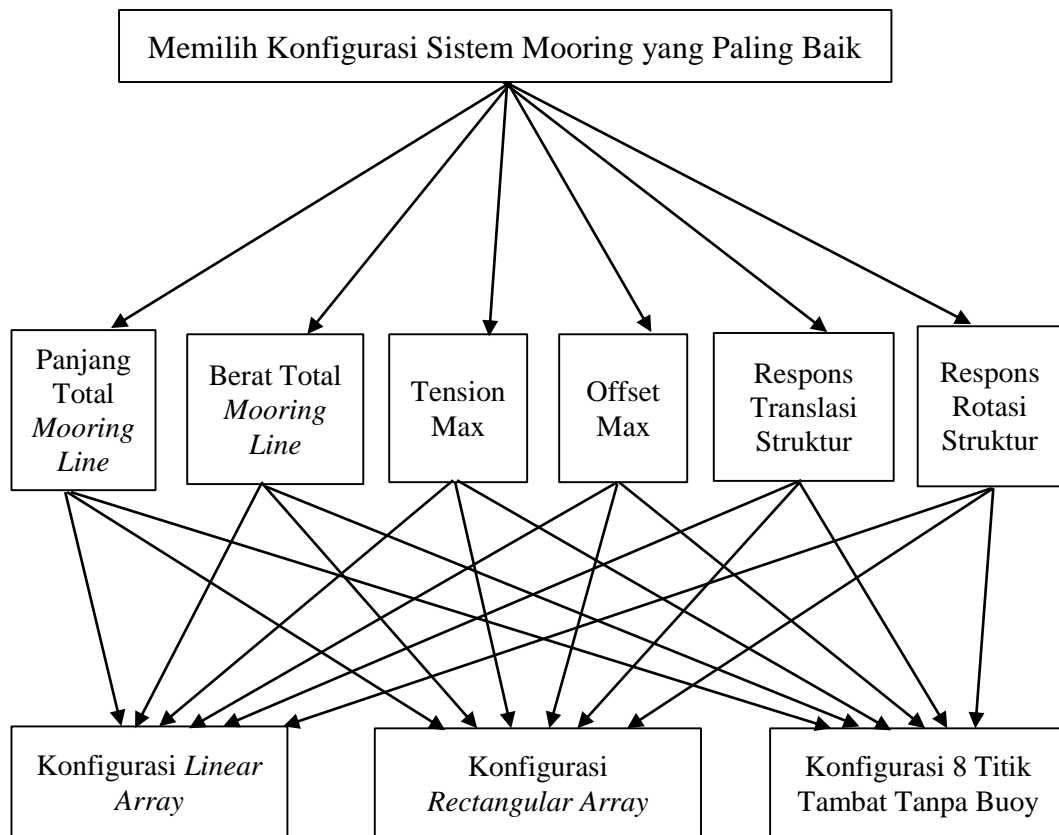
Dari hasil analisa Tugas Akhir ini secara keseluruhan maka dapat disederhanakan dalam satu tabel yaitu Tabel 4.25 untuk memudahkan melihat hasil maksimum dari seluruh parameter. Parameter yang diambil adalah respon gerak struktur, *tension* maksimum, dan *offset* maksimum.

Tabel 4.25 Rangkuman Hasil Maksimum dari Konfigurasi Sistem Mooring

Konfigurasi	Kriteria Penilaian				
	Amplitudo Respons Struktur		Mooring Tension		Offset (m)
	Translasi (m)	Rotasi (°)	Tension Max (kN)	UC	
Linear Array	1,566	5,47	1396,298	0,95	15
Rectangular Array	1,355	5,06	1150,642	0,78	8,8
8 Titik Tambat Tanpa Buoy	1,422	6,57	1312,52	0,89	7,15

Dalam mengambil keputusan untuk memilih konfigurasi sistem *mooring* manakah yang paling bagus dan efisien dari berbagai parameter yang telah dibahas sebelumnya, maka digunakan metode AHP (*Analytic Hierarchy Process*) agar keputusan yang diambil lebih tepat. Berikut adalah hasil dari analisa menggunakan metode AHP yang memiliki 4 tahapan.

Tahap pertama adalah tahap penyusunan hirarki. Hirarki utama (Hirarki I) adalah tujuan / goal yang akan dicapai atau penyelesaian persoalan yang dikaji. Hierarki kedua (Hirarki II) adalah kriteria, kriteria apa saja yang harus dipenuhi oleh semua alternatif (penyelesaian) agar layak untuk menjadi pilihan yang paling ideal, dan Hirarki III adalah alternatif atau pilihan penyelesaian masalah. Berikut adalah Gambar 4.67 yang merupakan gambar diagram AHP.



Gambar 4.67. Diagram AHP

Tahap kedua adalah tahap *Pair Comparison Matrix*. Pada tahap ini, terlebih dahulu ditentukan bobot dari masing-masing kriteria, dapat dilihat pada Tabel 4.26. Lalu dari masing-masing kriteria tersebut dihitung *Priority Vector*, *Principal Eigen Value*, CI, dan CR, yang dapat dilihat pada Tabel 4.27.

Tabel 4.26 Bobot dari masing-masing Kriteria

Tension Maksimum lebih penting 5 kali dari pada Berat Total Mooring Line
Tension Maksimum lebih penting 4,5 kali lebih penting dari pada Panjang Total Mooring Line
Tension Maksimum lebih penting 4 kali dari pada Respons Rotasi Struktur
Tension Maksimum lebih penting 3 kali dari pada Respons Translasi Struktur
Tension Maksimum lebih penting 2 kali dari pada Offset Maksimum
Panjang Total Mooring Line lebih penting 1,5 kali dari pada Berat Total Mooring Line
Respons Rotasi Struktur lebih penting 2 kali dari pada Berat Total Mooring Line
Respons Rotasi Struktur lebih penting 1,5 kali dari pada Panjang Total Mooring Line
Respons Translasi Struktur lebih penting 1,5 kali dari pada Respons Rotasi Struktur
Respons Translasi Struktur lebih penting 2 kali dari pada Panjang Total Mooring Line
Respons Translasi Struktur lebih penting 2,5 kali dari pada Berat Total Mooring Line
Offset Maksimum lebih penting 1,5 kali dari pada Respons Translasi Struktur
Offset Maksimum lebih penting 2 kali dari pada Respons Rotasi Struktur
Offset Maksimum lebih penting 2,5 kali dari pada Panjang Total Mooring Line
Offset Maksimum lebih penting 3 kali dari pada Berat Total Mooring Line

Tabel 4.27. Pair Comparison Matrix

Kriteria	Panjang Total Mooring Line	Berat Total Mooring Line	Tension Max	Offset Max	Respons Translasi Struktur	Respons Rotasi Struktur	Priority Vector
Panjang Total Mooring Line	1	1,5	0,22	0,4	0,5	0,66	0.0744
Berat Total Mooring Line	0,66	1	0,2	0,33	0,4	0,5	0.0560
Tension Max	4,5	5	1	2	3	4	0.3578
Offset Max	2,5	3	0,5	1	1,5	2	0.1879
Respons Translasi Struktur	2	2,5	3	0,66	1	1,5	0.2240
Respons Rotasi Struktur	1,5	2	0,25	0,5	0,66	1	0.1008
Jumlah	12.1	15	5.17	4.89	7.06	9.66	1.00
Principal Eigen Value	6.8						
Consistency Index	0.16						
Consistency Ratio	0.1						

Dari Tabel 4.27 dapat dilihat bahwa nilai tertinggi dihasilkan oleh *Tension Mooring*. Kriteria dengan nilai skor tertinggi adalah kriteria dengan prioritas paling tinggi.

Tahap ketiga adalah tahap *Pairwise Comparison*. Pada tahap ini, terlebih dahulu ditentukan bobot masing-masing kriteria terhadap konfigurasi sistem *mooring* yang dapat dilihat pada Tabel 4.28. Lalu dari masing-masing kriteria tersebut dihitung *Priority Vector*, *Principal Eigen Value*, CI, dan CR, yang dapat dilihat pada Tabel 4.29 – Tabel 4.34.



Tabel 4.28 Bobot Perbandingan

Rectangular 3 kali lebih baik tension maksimumnya dari pada Linear
Rectangular 2 kali lebih baik tension maksimumnya dari pada 8 Titik tanpa buoy
Rectangular 0,3 kali lebih baik panjang mooring line totalnya dari pada Linear
Rectangular 0,66 kali lebih baik panjang mooring line nya dari pada 8 Titik tanpa buoy
Rectangular 0,3 kali lebih baik berat mooring line totalnya dari pada Linear
Rectangular 0,66 kali lebih baik berat mooring line nya dari pada 8 Titik tanpa buoy
Rectangular 2 kali lebih baik offset maksimumnya dari pada Linear
Rectangular 0,66 kali lebih baik offset maksimumnya dari pada 8 Titik tanpa buoy
Rectangular 3 kali lebih baik respons translasinya dari pada Linear
Rectangular 2 kali lebih baik respon translasinya dari pada 8 Titik tanpa buoy
Rectangular 2 kali lebih baik respons rotasinya dari pada Linear
Rectangular 3 kali lebih baik respons rotasinya dari pada 8 Titik tanpa buoy
8 Titik Tanpa Buoy 1,5 kali lebih baik tension maksimumnya dari pada Linear
8 Titik Tanpa Buoy 0,5 kali lebih baik panjang mooring line totalnya dari pada Linear
8 Titik Tanpa Buoy 0,5 kali lebih baik berat mooring line totalnya dari pada Linear
8 Titik Tanpa Buoy 3 kali lebih baik offset maksimumnya dari pada Linear
8 Titik Tanpa Buoy 1,5 kali lebih baik respons translasinya dari pada Linear
8 Titik Tanpa Buoy 0,66 kali lebih baik respons rotasinya dari pada Linear

Tabel 4.29 Pairwise Comparison Panjang Total Mooring Line terhadap Ketiga Konfigurasi

Panjang Total Mooring Line	Rectangular Array	Linear Array	8 Titik Tambat Tanpa Buoy	Priority Vector
Rectangular Array	1	0.3	0.66	0.176
Linear Array	3	1	2	0.549
8 Titik Tambat Tanpa Buoy	1.5	0.5	1	0.275
Jumlah	5.5	1.8	3.66	1
Principal Eigen Value	3.0			
Consistency Index	0			
Consistency Ratio	0.00			

Tabel 4.30 Pairwise Comparison Berat Total Mooring Line terhadap Ketiga Konfigurasi

Berat Total Mooring Line	Rectangular Array	Linear Array	8 Titik Tambat Tanpa Buoy	Priority Vector
Rectangular Array	1	0.3	0.66	0.176
Linear Array	3	1	2	0.549
8 Titik Tambat Tanpa Buoy	1.5	0.5	1	0.275
Jumlah	5.5	1.8	3.66	1
Principal Eigen Value	2.96			
Consistency Index	0			
Consistency Ratio	0.00			

Tabel 4.31 Pairwise Comparison Tension Maksimum terhadap Ketiga Konfigurasi

Tension Maksimum	Rectangular Array	Linear Array	8 Titik Tambat Tanpa Buoy	Priority Vector
Rectangular Array	1	3	2	0.549
Linear Array	0.3	1	0.66	0.176
8 Titik Tambat Tanpa Buoy	0.5	1.5	1	0.275
Jumlah	1.8	5.5	3.66	1.0
Principal Eigen Value	2.96			
Consistency Index	0.00			
Consistency Ratio	0.0			

Tabel 4.32 Pairwise Comparison Offset Maksimum terhadap Ketiga Konfigurasi

Offset Maksimum	Rectangular Array	Linear Array	8 Titik Tambat Tanpa Buoy	Priority Vector
Rectangular Array	1	2	0.66	0.334
Linear Array	0.5	1	0.3	0.162
8 Titik Tambat Tanpa Buoy	1.5	3	1	0.503
Jumlah	3	6	1.96	1.0
Principal Eigen Value	2.96			
Consistency Index	0.00			
Consistency Ratio	0.0			

Tabel 4.33 Pairwise Comparison Respons Translasi Struktur terhadap Ketiga Konfigurasi

Respons Translasi Struktur	Rectangular Array	Linear Array	8 Titik Tambat Tanpa Buoy	Priority Vector
Rectangular Array	1	3	2	0.549
Linear Array	0.3	1	0.66	0.176
8 Titik Tambat Tanpa Buoy	0.5	1.5	1	0.275
Jumlah	1.8	5.5	3.66	1
Principal Eigen Value	2.96			
Consistency Index	0			
Consistency Ratio	0.00			

Tabel 4.34 Pairwise Comparison Respons Rotasi Struktur terhadap Ketiga Konfigurasi

Respons Rotasi Struktur	Rectangular Array	Linear Array	8 Titik Tambat Tanpa Buoy	Priority Vector
Rectangular Array	1	2	3	0.549
Linear Array	0.5	1	1.5	0.275
8 Titik Tambat Tanpa Buoy	0.3	0.66	1	0.176
Jumlah	1.8	3.66	5.5	1.0
Principal Eigen Value	2.96			
Consistency Index	0			
Consistency Ratio	0.00			

Setelah tahap ketiga selesai seluruhnya, maka tahap keempat adalah tahap *Overall Composite Weight*. Pada tahap ini melakukan perhitungan total skor nilai dari *Priority Vektor*, yang dapat dilihat pada Tabel 4.35 berikut.

Tabel 4.35 Overall Composite Weight

Overall Composite Weight	Weight	Rectangular Array	Linear Array	8 Titik Tambat Tanpa Buoy
Panjang Total Mooring Line	0.0744	0.176	0.549	0.275
Berat Total Mooring Line	0.0560	0.176	0.549	0.275
Tension Maksimum	0.3578	0.549	0.176	0.275
Offset Maksimum	0.1879	0.334	0.162	0.503
Respons Translasi Struktur	0.2240	0.549	0.176	0.275
Respons Rotasi Struktur	0.1008	0.549	0.275	0.176
Composite Weight		0.461	0.232	0.308

Hasil dengan nilai skor tertinggi menentukan prioritas pemilihan yang lebih utama. Berdasarkan tabel di atas maka dapat di ambil kesimpulan bahwa yang memiliki skor paling tinggi adalah Konfigurasi Sistem *Mooring Rectangular Array* yaitu 0,461 , disusul 8 Titik Tambat Tanpa Buoy dengan skor 0,308 dan yang terakhir adalah Linear Array dengan skor 0,232. Maka dari seluruh parameter yang dihitung menggunakan metode AHP, dapat dilihat bahwa konfigurasi sistem *Mooring Rectangular Array* adalah konfigurasi yang paling baik dan memiliki prioritas yang lebih tinggi.

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil studi desain, analisa olah gerak, *mooring tension*, dan *offset* struktur model *colar cage aquaculturel* dengan 3 variasi konfigurasi sistem mooring, diperoleh kesimpulan sekaligus menjawab rumusan masalah pada BAB I. Kesimpulan-kesimpulan yang didapatkan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Tension maksimum yang dihasilkan struktur *aquaculture* model *Collar Cage* adalah 1396,298 kN dari konfigurasi *Linear Array*, 1150,642 kN dari konfigurasi *Rectangular Array*, dan 1312,52 kN dari Konfigurasi 8 Titik Tambat Tanpa *Buoy*.
2. *Offset* maksimum yang dihasilkan struktur *aquaculture* model *Collar Cage* adalah 15 m dari konfigurasi *Linear Array*, 8,8 m dari konfigurasi *Rectangular Array*, dan 7,15 m dari Konfigurasi 8 Titik Tambat Tanpa *Buoy*.
3. Mempertimbangkan dari parameter *tension* maksium, *offset* maksimum, respon struktur, panjang total *mooring*, dan berat total *mooring line*, sistem *mooring* yang paling tepat dan efisien untuk struktur *aquaculture* model *Collar Cage* adalah konfigurasi *Rectangular Array*.

## 5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diambil sebagai dasar pengembangan tugas akhir ini antara lain adalah:

1. Perlu adanya pendalaman analisa yang lebih baik, menggunakan perangkat lunak yang mampu memodelkan struktur *Aquaculture* beserta jaring secara khusus.
2. Diperlukan analisa lebih lanjut mengenai efek beban ikan terhadap respon dan *mooring tension* struktur *aquaculture*.
3. Diperlukan analisa lebih lanjut mengenai kekuatan sistem tambat pada sistem *aquaculture* yang lebih kompleks dengan jumlah *cage* lebih dari satu.
4. Diperlukan analisa lebih lanjut mengenai sistem *feeding*, dan transportasi *offshore aquaculture*.
5. Perlu dilakukan uji model fisik *offshore aquaculture* di laboratorium hidrodinamika.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adi, Hafidz B P. 2017. *Perancangan Sistem Mooring dan Analisis Olah Gerak Struktur Aquaculture Model Seastation untuk Laut Lepas Indonesia*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- API RP 2SK. 2005. *Design and Analysis of Stationkeeping Systems for Floating Structures*. American Petroleum Institute. USA.
- Ariyogagautama D., Salim O F. 2013. *Potret Pemboman Ikan Tuna di Perairan Kabupaten Flores Timur*. Program Kelautan dan Perikanan Yayasan WWF. Indonesia.
- Aziz M. A. 2015. *Desain Aquaculture dengan Menggunakan Pipa HDPE untuk Budidaya Ikan Baronang*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Baskara, A. 2017. *Desain dan Analisa Kekuatan Struktur Model Farmosean Semi-Submersible Offshore Aquaculture untuk Perairan Laut Lepas Indonesia*. Tugas Akhir. Surabaya: Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Beveridge, M. 2004. *Cage Aquaculture 3<sup>rd</sup> Edition*. Oxford: Blackwell Publishing.
- Cardia, F. dan Lovatelli, A. 2015. *Aquaculture operations in Floating HDPE Cage*. Roma: Food and Agricultural Organization of The United Nations.
- Chakrabarti, S.K., 1987. *Hydrodynamics of Offshore Structures*, USA: Computational.
- Djarmiko, E. B., 2012. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut diatas Gelombang Acak*. Surabaya: ITS Press.
- DNV OS-E-301. 2004. *POSITION MOORING*. Norway.
- FAO. 2016. *The State of World Fisheries and Aquaculture*. Roma: Food and Agricultural Organization.
- Fredheim, A. 2014. *The View of The Offshore Aquaculture Sector*. SINTEF Fisheries and Aquaculture.
- Fredriksson, D.W., DeCew, J., Swift, M.R., Tsukrov, I., Chambers, M.D., dan Celikkol B. 2004. "The Design And Analysis of A Four-Cage Grid Mooringfor Open Ocean Aquaculture". *Journal of Aquacultural Engineering* 32:77-94.
- Fusion Marine. 2017. (Online).(<http://www.fusionmarine.com/news.htm> , diakses 17 September 2017).
- Kementrian Kelautan dan Perikanan. 2015. *Analisis Data Pokok Kementrian Kelautan dan Perikanan*. Indonesia: Kementrian Kelautan dan Perikanan
- Lee, C.W., Kim, Y.B., Lee, G.H., Choe, M.Y., Lee, M.K., dan Koo, K.Y. 2008. "Dynamic Simulation of a Fish Cage System Subjected to Currents and Waves". *Journal of Ocean Engineering* 35:1521-1532



- Mawardi. 2013. *Pengantar Penggunaan AHP (Analytical Hierarchy Process) dalam Pengambilan Keputusan.* (Online). (<http://mawardisyana.blogspot.co.id/2013/04/pengantar-penggunaan-ahp-analytical.html> , diakses pada 18 November 2017 ).
- Mordec. "Syntetic Ropes." (Online), diakses pada November 2017.
- NIKA – Force (Polypropylene) Strand Rope. (Online). (<http://www.katradis.com/aquaculture/3-4-strands/nikaforce> , diakses 26 Oktober 2017).
- Olivares, A.E.V. 2003. *Design of A Cage Culture System for Farming in Mexico.* Reykjavik: The United Nations University
- Rubino, M. 2008. *Offshore Aquaculture in the United States: Economic Considerations, Implications & Opportunities.* United States: National Oceanic & Atmospheric Administration.
- Scott, D.B.C. dan Muir, J.F. 2000. *Offshore cage systems – a practical overview In: Mediterranean Offshore Mariculture.* Zaragoza: CIHEAM Open Mediterraneanes.
- Smooth Surface HDPE Sheet. (Online). (<http://sdxxhg.com/en/index.asp> , diakses pada 13 November 2017 ).
- Walsh Marine Buoys. 2007. *Mooring Systems for Aquaculture* . (Online). (<https://www.walshmarineproducts.com/aquaculture-mooring-systems/> , diakses 17 September 2017).
- "WAS Aquaculture," 2009.

**LAMPIRAN A**  
**Perhitungan Struktur**

## Perhitungan Inner Collar Struktur

### Dimensi

Diameter (m)	Keliling (m)
12	37.69911184

### Spesifikasi Pipa : HDPE PE 80 SDR 13.6

Pipe Size (mm)	Thickness (mm)	Weight (kg/m)	Buoyancy (kg/m)
400	29.4	34.2	91.4

### Berat dan Buoyancy

Weight (ton)	Buoyancy (ton)
1.289309625	3.445698822

## Perhitungan Outer Collar Struktur

### Dimensi

Diameter (m)	Keliling (m)
18	56.54866776

### Spesifikasi Pipa : HDPE PE 80 SDR 13.6

Pipe Size (mm)	Thickness (mm)	Weight (kg/m)	Buoyancy (kg/m)
400	29.4	34.2	91.4

### Berat dan Buoyancy

Weight (ton)	Buoyancy (ton)
1.933964438	5.168548234

## Perhitungan Middle Collar A

### Dimensi

Diameter (m)	Keliling (m)
13.5	42.41150082

### Spesifikasi Pipa : HDPE PE 80 SDR 13.6

Pipe Size (mm)	Thickness (mm)	Weight (kg/m)	Buoyancy (kg/m)
355	26.1	27	71.9

### Berat dan Buoyancy

Weight (ton)	Buoyancy (ton)
1.145110522	3.049386909

## Perhitungan Middle Collar B

### Dimensi

Diameter (m)	Keliling (m)
15	47.1238898

### Spesifikasi Pipa : HDPE PE 80 SDR 13.6

Pipe Size (mm)	Thickness (mm)	Weight (kg/m)	Buoyancy (kg/m)
355	26.1	27	71.9

### Berat dan Buoyancy

Weight (ton)	Buoyancy (ton)
1.272345025	3.388207677

## Perhitungan Middle Collar C

### Dimensi

Diameter (m)	Keliling (m)
16.5	51.83627878

### Spesifikasi Pipa : HDPE PE 80 SDR 13.6

Pipe Size (mm)	Thickness (mm)	Weight (kg/m)	Buoyancy (kg/m)
355	26.1	27	71.9

### Berat dan Buoyancy

Weight (ton)	Buoyancy (ton)
1.399579527	3.727028445

## Perhitungan Inner Handrail

### Dimensi

Diameter (m)	Keliling (m)
11.85	37.22787295

### Spesifikasi Pipa : HDPE PE 80 SDR 13.6

Pipe Size (mm)	Thickness (mm)	Weight (kg/m)	Buoyancy (kg/m)
250	18.4	13.5	35.6

### Berat dan Buoyancy

Weight (ton)	Buoyancy (ton)
0.502576285	-

## Perhitungan Outer Handrail

### Dimensi

Diameter (m)	Keliling (m)
18.15	57.01990666

### Spesifikasi Pipa : HDPE PE 80 SDR 13.6

Pipe Size (mm)	Thickness (mm)	Weight (kg/m)	Buoyancy (kg/m)
250	18.4	13.5	35.6

### Berat dan Buoyancy

Weight (ton)	Buoyancy (ton)
0.76976874	-

## Perhitungan Sinker

### Dimensi

Diameter (m)	Keliling (m)
12	37.69911184

### Spesifikasi Pipa : HDPE PE 80 SDR 13.6

Pipe Size (mm)	Thickness (mm)	Weight (kg/m)	Buoyancy (kg/m)
250	18.4	13.5	35.6

### Berat dan Buoyancy

Weight (ton)	Buoyancy (ton)
0.50893801	1.342088382

**Ballast**

Jari-jari	=	106.6	mm
	=	0.1066	m
Luas lingkaran dalam	=	$\pi \times r^2$	
	=	0.035699677	m <sup>2</sup>
Volume Ballast	=	1.346	m <sup>3</sup>
	=	1.379492254	ton
TOTAL Berat Sinker + Ballast	=	1.888430264	ton

## Perhitungan Bracket

Luas Permukaan (m <sup>2</sup> )	Lebar Bracket (m)	Volume Bracket (m <sup>3</sup> )	Density HDPE (ton/m <sup>3</sup> )	Density Sea Water (ton/m <sup>3</sup> )
2.7017	0.2	0.54034	0.952	1.025

**Berat dan Buoyancy 36 Bracket**

Weight (ton)	Buoyancy (ton)
18.51853248	19.939

## Perhitungan Tali Sinker Polypropylene

Panjang	=	6	m
Diameter	=	0.04	m
Density	=	0.933	ton/m <sup>3</sup>
Volume	=	$\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times L$	
	=	0.007539822	m <sup>3</sup>
Jumlah	=	36	
Total Volume	=	0.271433605	m <sup>3</sup>
Berat	=	0.253247554	ton
Bouyancy Tali Sinker	=	0.278219445	ton

## Perhitungan Jaring

Luas Jaring (kedalaman 6 m)	=	Panjang inner collar x kedalaman
	=	226.1946711 m <sup>2</sup>
Luas Permukaan Alas Bawah	=	$\pi \times r^2$
	=	113.0973355 m <sup>2</sup>
Luas Permukaan Total	=	339.2920066 m <sup>2</sup>
Property jaring		1,25 x 1,25
	=	inch
Material jaring	=	Black Polyethylene Mesh
PSMF		lbs / 1000 sq
	=	120 ft
	=	585.8913168 g/m <sup>2</sup>
Beban jaring		PSMF x
	=	Luas Jaring
	=	198788.2405 g
	=	0.199 Ton
Buoyancy	=	0.214 Ton

## Perhitungan Bangunan Atas

Spesifikasi *sheet* HDPE yang Digunakan untuk Bangunan Atas

### Our HDPE sheet standard sizes:

1. Thickness: 6 - 300mm 2. Width: max 2000mm

3. Normal standard size:

Length(mm)	Width(mm)	Thickness(mm)
2000	1000	6-300
3000	1500	6-300
4700	1200	6-300
5000	1300	6-300
4500	2000	6-300
3050	1220	6-100



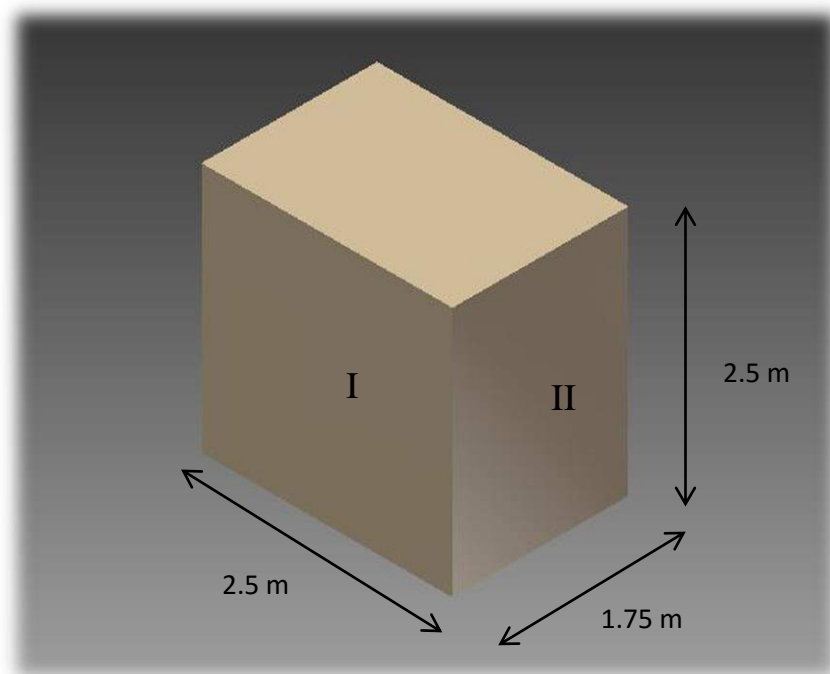
Property sheet HDPE yang Digunakan untuk Bangunan Atas

Property	Unit	Value
Density	g/cm <sup>3</sup>	0.93-0.96
Average molecular weight	g/mol	3million- 10 million
Tensile strength (23°C in air)	MPa	22
Breaking strength	MPa	42
Tensile strain at break	%	600
Charpy impact strength (notched)	mJ/mm <sup>2</sup>	No break
Ball indentation hardness	N/mm <sup>2</sup>	42
Shore D hardness	--	65-70
Abrasion	%	70-80, steel = 100
Static Friction Coefficient	--	≤0.16
Kinetic Friction Coefficient	--	≤0.10
Water Absorption	--	NIL
Elongation at break at 23 degress	%	≥300
Temperature resistance	°C	-269 to +85
Melt Temperature	°C	130-140

Berikut ini perhitungan untuk menghitung berat total bangunan atas :

Dimensi Alas	:		
Panjang	=	2.5	m
Lebar	=	1.75	m
Luas Alas	=	4.375	m <sup>2</sup>
Banyaknya alas + tutup	=	2	
Luas Total	=	8.75	m <sup>2</sup>
Dimensi Luasan Samping (I)	:		
Panjang	=	2.5	m
Lebar	=	2.5	m
Luas Alas	=	6.25	m <sup>2</sup>
Banyaknya	=	2	
Luas Total	=	12.5	m <sup>2</sup>
Dimensi Luasan Samping (II)	:		
Panjang	=	1.75	m
Lebar	=	2.5	m
Luas Alas	=	4.375	m <sup>2</sup>
Banyaknya	=	2	
Luas Total	=	8.75	m <sup>2</sup>
Jumlah Luas Selimut Total	=	30	m <sup>2</sup>

Banyaknya bangunan	=	4	buah
Luasan Total	=	120	m <sup>2</sup>
Density	=	0.952	g/cm <sup>3</sup>
	=	0.952	ton/m <sup>3</sup>
Thickness	=	0.05	m
Volume Total	=	6	m <sup>3</sup>
Berat Total	=	5.712	ton



Gambar Dimensi Struktur dari *Sheet* HDPE yang direncanakan

Perhitungan Total Seluruh Panjang Mooring Line dan Berat Tali masing-masing Konfigurasi.

Perhitungan Mooring Line	Panjang Total (m)	Berat/Satuan Panjang Tali (kg/m)	Berat Total Tali (kg)
Konfigurasi Linear Array	372.8	8.87	3306.736
Konfigurasi Rectangular Array	511.6		4537.892
Konfigurasi 8 Titik Tambat Tanpa Buoy	440		3902.8

**LAMPIRAN B**

**Katalog *Mooring Line* Mordec Syntetic Ropes**

# Nylon Rope (8-Strand)

Technical Specification:

Materials : 100% Nylon Fiber  
Specified Gravity : 1.14  
Melting Point : 220°C  
Elongation at break : 45%  
Water Absorption : 2 - 5%  
Length : 220M  
Color : White  
Certificate : LRS

Product Quote	DIA		CIR	Weight		Breaking Strength
	MM	INCH	INCH	KGS/100M	LBS/100FT	kN
SN81-040220-DY	40	1-9/16	5	99.0	66.5	333.5
SN81-044220-DY	44	1-3/4	5-1/2	12.0	80.6	397.3
SN81-048220-DY	48	1-7/8	6	142.0	95.4	466.0
SN81-052220-DY	52	2-1/16	6-1/2	166.0	111.5	539.0
SN81-056220-DY	56	2-1/4	7	193.0	129.7	613.1
SN81-060220-DY	60	2-3/8	7-1/2	221.0	148.5	691.6
SN81-064220-DY	64	2-1/2	8	252.0	169.3	784.8
SN81-068220-DY	68	2-11/16	8-1/2	285.0	191.5	882.9
SN81-072220-DY	72	2-7/8	9	319.0	214.4	961.0
SN81-080220-DY	80	3-5/32	10	394.0	264.8	1,206.6
SN81-084220-DY	85	3-3/8	10-1/2	445.0	299.0	1,353.7
SN81-088220-DY	88	3-7/16	12	477.0	320.5	1,422.4
SN81-096220-DY	95	3-13/16	12	568.0	381.7	1,667.6
SN81-104220-DY	104	4-1/8	13	666.0	447.5	1,961.9
SN81-112220-DY	112	4-7/16	14	772.0	518.8	2,060.0
SN81-120220-DY	120	4-3/4	15	887.0	596.0	2,501.5



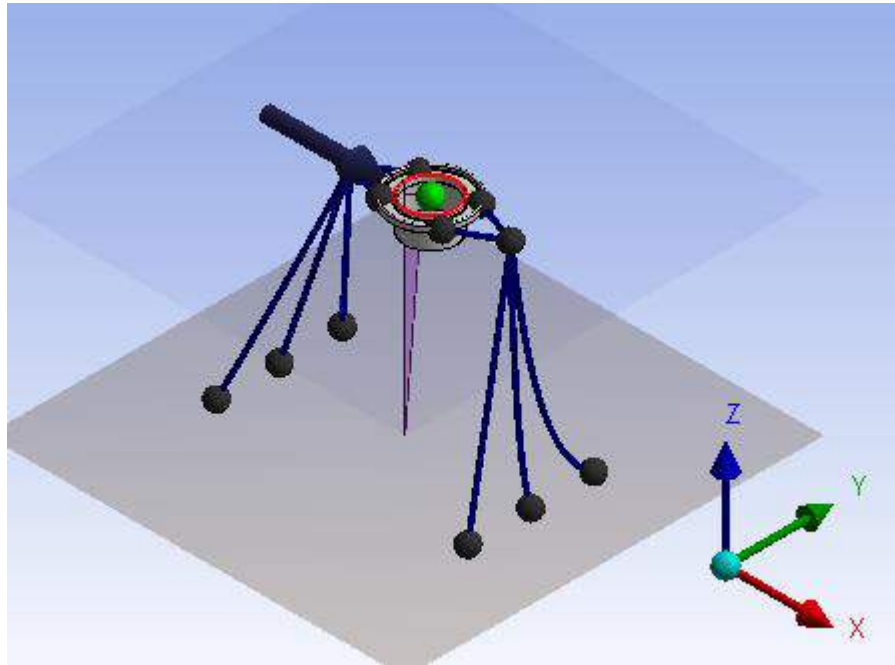
SYNTHETIC  
ROPES

## **LAMPIRAN C**

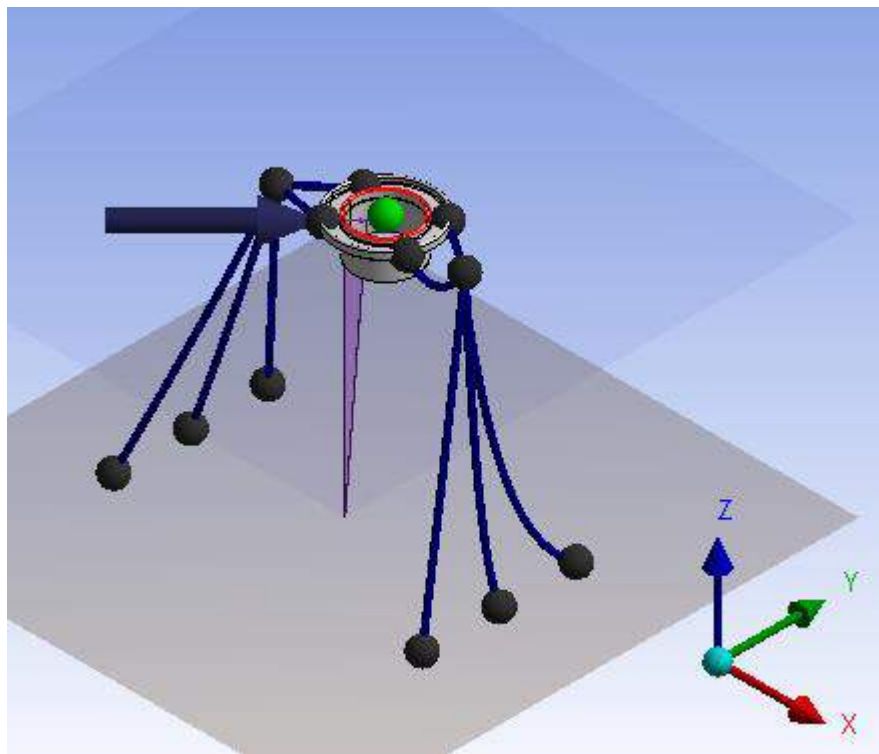
### **Output Gambar ANSYS AQWA STRUCTURE POSITION**

Berikut ini adalah gambar gerakan struktur semua konfigurasi dari 3 arah pembebanan.

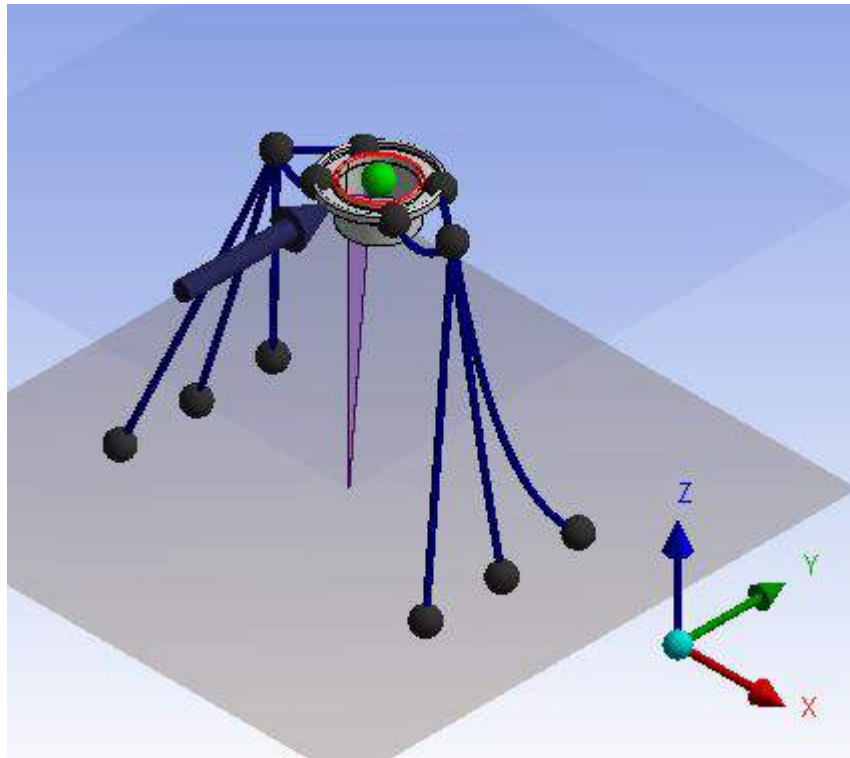
Gerak Horizontal Struktur Konfigurasi *Linear Array Heading 0°*



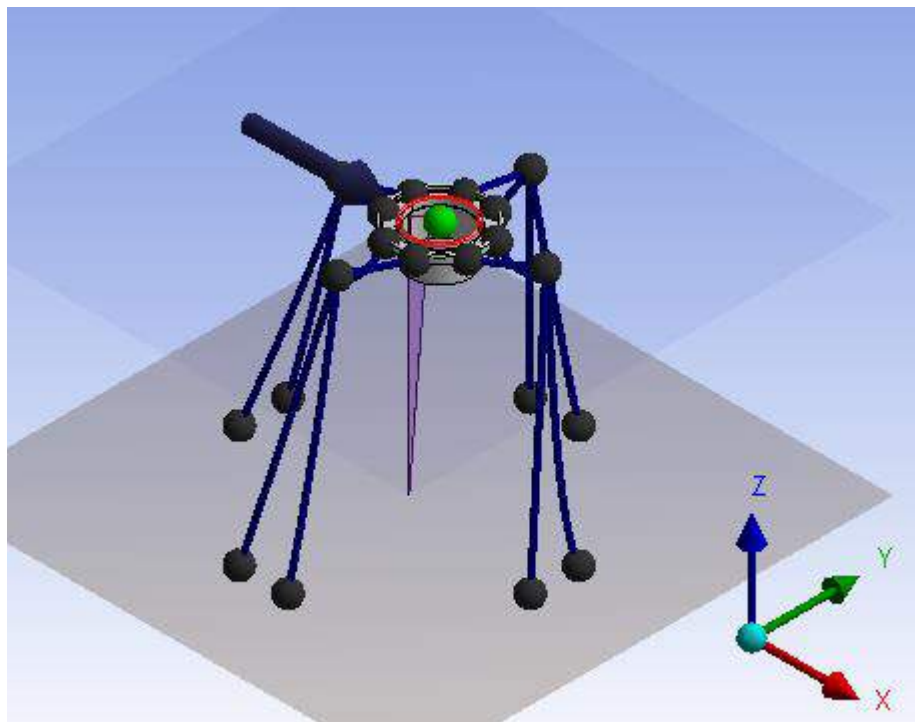
Gerak Horizontal Struktur Konfigurasi *Linear Array Heading 45°*



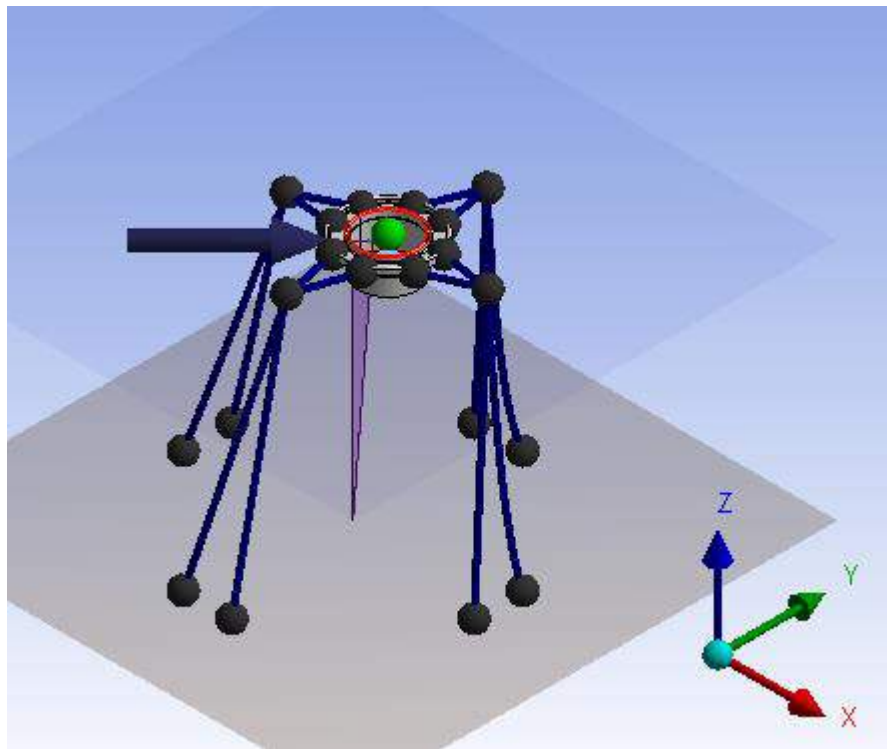
Gerak Horizontal Struktur Konfigurasi *Linear Array Heading*  $90^\circ$



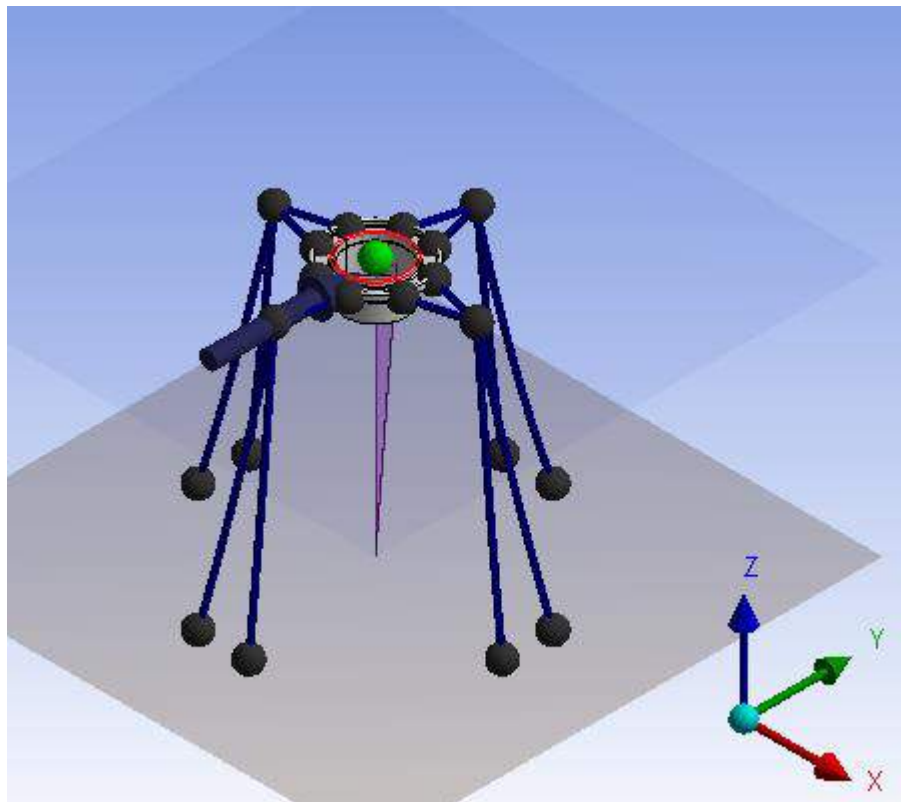
Gerak Horizontal Struktur Konfigurasi *Rectangular Array Heading*  $0^\circ$



Gerak Horizontal Struktur Konfigurasi *Rectangular Array* Heading  $45^\circ$

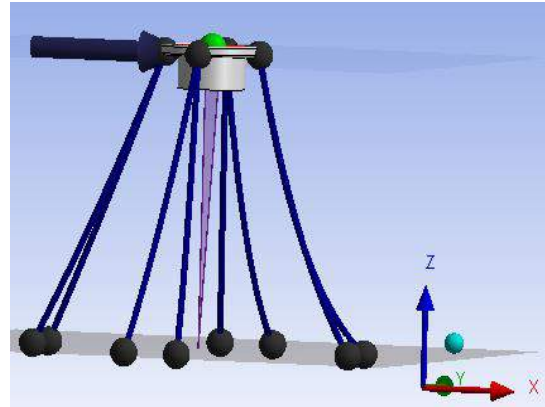
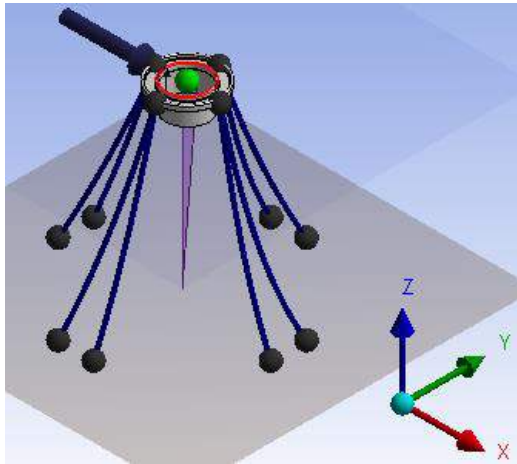


Gerak Horizontal Struktur Konfigurasi *Rectangular Array* Heading  $90^\circ$

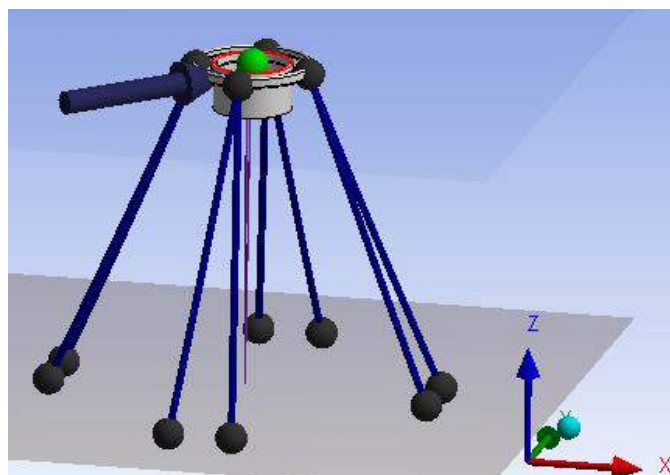
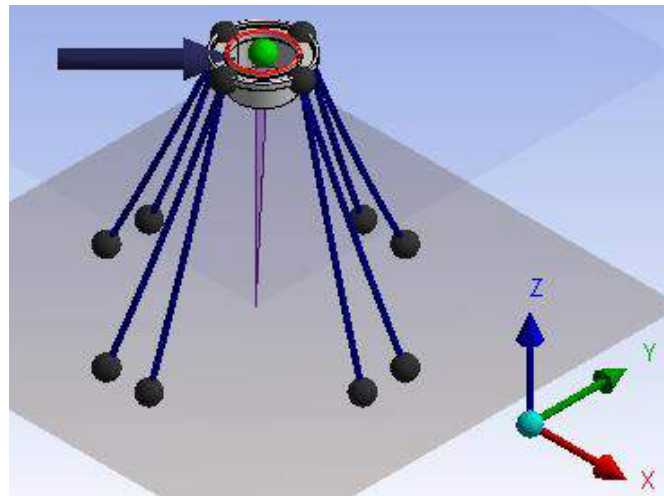




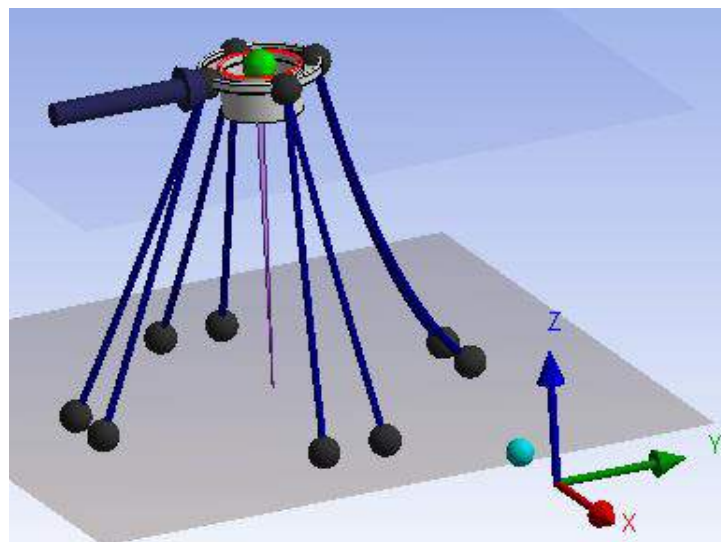
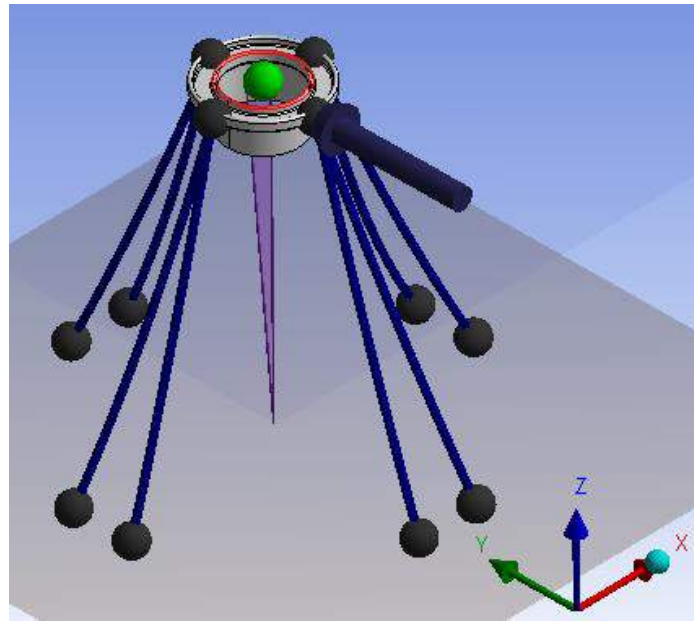
Gerak Horizontal Struktur Konfigurasi 8 Titik Tambat Tanpa *Buoy Heading*  $0^\circ$ , tampak isometri dan tampak samping.



Gerak Horizontal Struktur Konfigurasi 8 Titik Tambat Tanpa *Buoy Heading*  $45^\circ$ , tampak isometri dan tampak samping.



Gerak Horizontal Struktur Konfigurasi 8 Titik Tambat Tanpa *Buoy Heading*  $90^\circ$



## BIODATA PENULIS



Niken Desiana Putri, lahir di Tulungagung pada 28 Februari 1996. Pendidikan formal penulis dimulai dengan menyelesaikan jenjang Pendidikan Dasar di SDN 1 Batangsaren pada tahun 2008 dan SMP Negeri 2 Tulungagung pada tahun 2011. Kemudian menyelesaikan jenjang Pendidikan Menengah di SMA Negeri 1 Kauman pada tahun 2014. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan ke jenjang Pendidikan Tinggi Strata 1 di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 4314100030. Selama menempuh masa perkuliahan penulis aktif di organisasi kemahasiswaan serta kepanitiaan, antara lain Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan, Volunteer BEM ITS, dan ITS EXPO. Penulis pernah memiliki kesempatan untuk melaksanakan kerja praktek di PT. CITRA MAS Surabaya pada Tahun 2017 selama 2 bulan. Permasalahan yang diangkat oleh penulis sebagai Tugas Akhir adalah salah satu bidang keahlian di Departemen Teknik Kelautan, yaitu Perancangan Struktur Bangunan Lepas Pantai.

Email : [nikendesianaputri@gmail.com](mailto:nikendesianaputri@gmail.com)